

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月31日現在

機関番号：32658

研究種目：基盤研究（B） 一般

研究期間：2010～2012

課題番号：22360175

研究課題名（和文） 舗装路面の移動式たわみ測定装置の開発と健全度評価

研究課題名（英文） Development of mobile deflection measurement device for pavement and evaluation of pavement soundness

研究代表者

竹内 康（TAKEUCHI YASUSHI）

東京農業大学・地域環境科学部・教授

研究者番号：90271329

研究成果の概要（和文）：高速で移動しながら連続的にたわみを計測する試験機は、各国で開発が進められており、それを用いて舗装の支持性能を評価した結果は、舗装の維持管理に活用されつつある。このような試験機の開発にあたり、高速で移動する車両により計測されるたわみの特性を把握することを目的として、既存の車両に変位計を取り付け、いくつかの試験路において連続たわみの測定を行った。また、収集したデータを用いて舗装の健全性を評価する方法について検討を行った。本研究では、載荷位置直下のたわみと載荷位置から45cm離れた位置のたわみの差を用いて、舗装表面付近の健全性を評価する方法を提案し、比較的たわみの大きい健全な舗装に対してFWD試験で得られるたわみと相関の高い結果が得られることを確認した。

研究成果の概要（英文）：A various countries have proceeded with developing a device of continuously measuring pavement surface deflection at high speed in order to evaluate pavement bearing capacity and to utilize it for pavement maintenance. We are also aiming at developing a similar device. Several laser deflection sensors have been mounted on an existing truck and test runs are repeated at our test courses to accumulate surface deflections in order to understand the their characteristics. A method of pavement soundness evaluation has been examined using the measured data. A measure of pavement soundness is proposed by the deflection difference  $D_0 - D_{45}$  where  $D_0$  denotes the deflection at the center of rear wheel and  $D_{45}$  is the deflection at 45cm apart from the location of  $D_0$ . The measure shows good correlation with FWD deflections when deflections of pavement in good conditions are relatively large.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	9,800,000	2,940,000	12,740,000
2011年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2012年度	1,600,000	480,000	2,080,000
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学，土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：維持・管理，舗装工学

## 1. 研究開始当初の背景

約100万kmに及ぶ道路舗装を限られた予算，人員で維持管理するためには，ネットワークレベルでの舗装の健全度評価が必要と

なる。特に路面下空洞に代表されるような舗装の構造的欠陥を評価するためには，舗装の支持力データが必要であり，現在はFWD（Falling Weight Deflectometer）という重

錘落下式の試験機が用いられている。しかし、FWDは図-1に示すように定点載荷式の試験機であるため、舗装構造を連続的に評価するものでなく、ネットワークレベルの健全度評価には用いられていないのが現状である。そのため、走行しながらFWDのように健全度評価を行うシステムがあれば、ネットワークレベルでの健全度評価が可能となる。

このような試験機として1990年代後半から米国において開発されてきた移動式非破壊試験機であるRWD (Rolling Wheel Deflectometer) があるが、RWDは巨大な牽引式トレーラにレーザ距離計を取り付けたものであり、日本国内では車両制限令に抵触してしまうため、日本国内での適用は難しいのが現状である。

## 2. 研究の目的

本研究では、日本国内で走行可能なトラックタイプの車両に高精度レーザ距離計を設置した架台を取り付け、走行しながら舗装路面のたわみ速度を計測する「移動式たわみ測定装置」を試作するとともに、実舗装において走行試験を実施し、舗装の支持力評価の主流を成しているFWD試験機との比較を行い、その測定精度について検討することを目的としている。なお、本研究では研究分担者が所属する(独)土木研究所が所有する促進載荷試験用の特殊車両を使用し、図-2に示すように車両後軸部と車体中央部にセンサ架台を設置し、レーザ距離計を取り付けた。これは、促進載荷試験用の特殊車両は輪荷重を任意に設定できるためである。

## 3. 研究の方法

連続たわみの計測は、国内の舗装の95%以上を占めるアスファルト舗装を対象に実施した。計測場所は、図-3に赤線で示した同研究所内の舗装走行実験場の試験走路とした。これは、舗装走行実験場の舗装は舗装構成な



図-1 FWD 試験機

らびに供用履歴が明確であり、当然のことながら実験時に交通規制が必要無いという理由によるものである。

各測線において、路盤厚は20~30cmと多少の違いはあるものの、アスファルト層厚は15cmと同じ層厚であった。なお、目視による調査ではあるが、試験走路および大ループの舗装の状態は、比較的良好であった。荷重は、後輪軸上の荷台のおもりの量で調整することができ、本実験では後輪の輪荷重で49kNおよび79kNを作用させた。なお、輪荷重は荷重計を用いて確認し、走行速度は60km/hとした。また、走行実験時の変位データのサンプリング周波数は2000Hzとした。

## 4. 研究成果

路面のたわみ量の評価方法は、図-4の通りである。いま、路面に凹凸や傾斜がなく、また、車体自体の振動や傾きもない理想的な状況で走行試験が実施される場合を考える。舗装の剛性の違いによってタイヤの変形量に差が生じないと仮定すると、車軸と路面の距離 $\Delta_0$ の値は、車輪の半径からタイヤの変形量を引いた値となり、常に一定値となる。また、無載荷の状態の路面と車輪軸位置までの距離を $\Delta_{\infty}$ とすると、車輪直下のたわみ $D_0$ は、 $D_0 = \Delta_0 - \Delta_{\infty}$ となる。

後軸のセンサ架台にレーザ距離計を取り付け、無載荷の状態の路面と車輪軸位置までの距離 $\Delta_{\infty}$ を計測することは極めて難しいた



図-2 試作した連続式たわみ測定装置



図-3 走行実験場の見取図

め、本研究では載荷直下と45cm離れた箇所

での相対たわみによって評価することとし

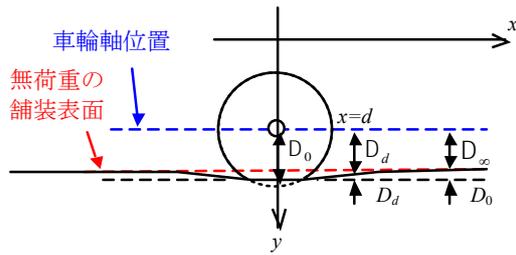


図-4 路面たわみの考え方

た。すなわち、 $x=0$ 、 $x=45\text{cm}$ でのたわみを  $D_0$ 、 $D_{45}$  とすると、相対たわみ  $D_0 - D_{45}$  は以下のよう  
にレーザ距離計の測定値から求めることができる。

$$D_0 - D_{45} = D_0 - D_{\infty} - (D_{45} - D_{\infty})$$

$$= D_0 - D_{45}$$

測定された路面までの距離には、車両の振動や路面凹凸の影響が含まれるため、米国 RWD と同様に移動平均によって平滑化を行い、それらの影響を取り除くこととした。予備試験によって移動平均距離を検討したところ、平均区間を  $10\text{m}$  ( $\pm 5\text{m}$ ) 以上とすることで、平滑化できることがわかったことから、本研究では移動平均区間を  $10\text{m}$  とした。

米国 RWD では、移動平均区間を  $160\text{m}$  ( $0.1\text{mile}$ ) としているが、本研究では  $1/10$  以下の評価区間となっている。米国 RWD では荷台にレーザ距離計を設置しているのに対し、本研究では車軸にセンサ架台を取り付けているため、サスペンションによる振動の影響を軽減できたためであると考えられる。

図-5 に移動式たわみ測定装置による走行試験結果を、図-6 に移動式たわみ測定装置と FWD で得られた相対たわみの結果を示す。図-5、6 の縦軸の RWD は移動式たわみ測定装置による結果を示している。また、図-5 の FWD たわみは載荷重  $49\text{kN}$  での測定結果で、 $10\text{m}$  区間の平均値を示している。図-5 の結果より、

$49\text{kN}$  載荷では、相対たわみが負の値を示して

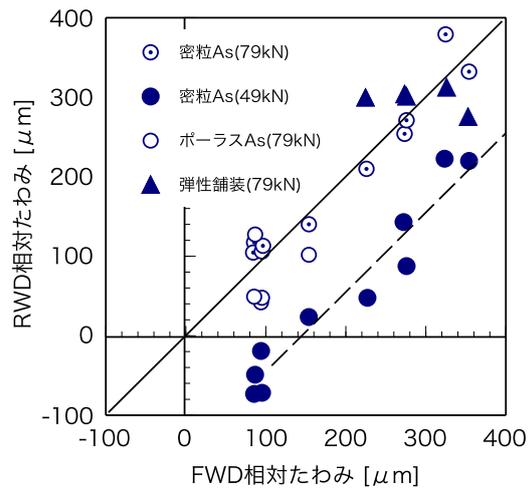


図-6 相対たわみの比較結果

箇所が散見される。既往の研究成果では、舗装の剛性が高くなる、つまりたわみが小さくなる箇所では、移動平均の影響によって測定結果が不安定になることが知られている。また、本研究では走行試験を周回路（左回り）で行っているため、静止状態では  $49\text{kN}$  であった右側の輪荷重が、遠心力の影響を受けて静止状態よりも小さくなっており、そのために測定たわみが小さくなったものと考えられる。

次に図-6 の結果を見ると、輪荷重  $79\text{kN}$  での相対たわみは、FWD での相対たわみと概ね  $1:1$  の関係にあることがわかる。また、図-5 に示されているように、 $49\text{kN}$  での測定結果は、負の値を示している箇所が幾つか見られる。しかし、相対たわみが負の値を示した箇所のデータを除くと、傾きが  $1$  の直線上（破線）に分布しており、 $79\text{kN}$  での結果と同じ傾向が得られていることがわかる。路面たわみは、作用させた荷重の大きさに比例するため、遠心力の影響によって載荷側の輪荷重が低下した影響が現れているものと考えられる。FWD 相対たわみが  $400\mu\text{m}$  のときの破線の値は  $250\mu\text{m}$  であり、 $1/1.6$  倍である。つまり、 $79\text{kN}$

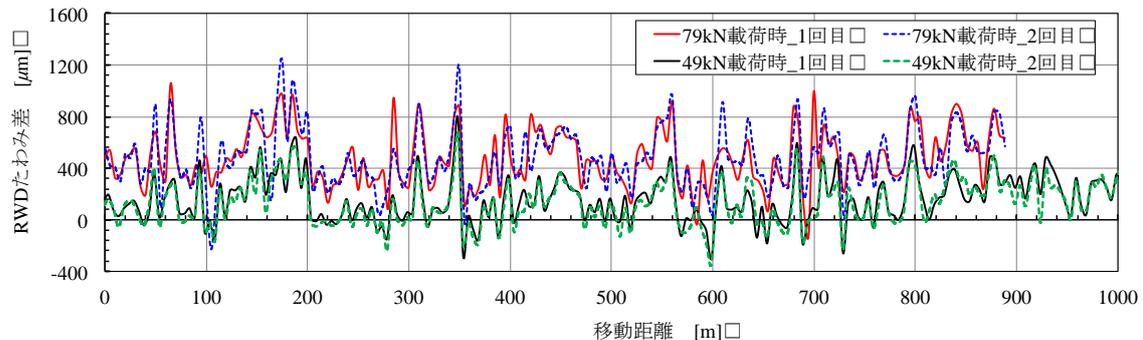


図-5 移動式たわみ測定装置による走行試験結果

×1/1.6≒79kN となることから、輪荷重 79kN での走行試験では、遠心力の影響によって計測側の輪荷重は 49kN 程度になっていたものと考えられる。これについては、引き続き計測を行い確認する必要がある。

本研究では、走行しながら舗装路面のたわみ速度を計測する「移動式たわみ測定装置」を試作するとともに、実舗装において走行試験を実施し、舗装の支持力評価の主流を成している FWD 試験機との比較を行い、その測定精度について検討した。主な結果をまとめると以下の通りである。

- ・ 本研究で試作した移動式たわみ測定装置では、高精度レーザ変位計を設置したセンサ架台を後輪車軸に取り付けることで、米国 RWD よりも車両振動の影響が小さくなり、たわみ評価区間を 1/10 程度まで縮めることができた。
- ・ 移動式たわみ測定装置を用いて測定した相対たわみと FWD による相対たわみには、直線関係があることがわかった。ただし、周回路で走行試験を行ったため、走行時の遠心力の影響によって輪荷重が変動したことから、今後の検討が必要である。

本研究で試作した移動式たわみ測定装置は、日本国内で走行可能なトラックタイプの車両の後軸センサ架台を取り付けたものである。したがって、工事用車両として使用されているダンプトラック等にも本研究で開発したセンサ架台を取り付けることが可能であることから、測定装置の汎用性は高いものと考えられる。ただし、走行試験を行う際には、走行しながら輪荷重を計測できる装置を導入し、測定精度を向上させる必要がある。これについては、今後の課題としたい。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 12 件)

- (1) 竹内康, 毛世華, 岡澤宏, 小梁川雅, 西澤辰男, 堀内智司: コンクリート舗装における路盤厚設計曲線の信頼性に関する検討, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol. 67, No. 2, 111-119, 2011.
- (2) 竹内康, 毛世華, 岡澤宏, 木幡行宏, 西澤辰男: 信頼性を考慮した路床弾性係数の簡易算出式の提案, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol. 67, No. 3, I\_95-I\_101, 2011.
- (3) 竹内康, 青木政樹, 國井洋一, 佐藤研一, 柳沼宏始: 利用者の快適性・安全性を考慮した歩行者系舗装の構造設計法の提案, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol. 67, No. 3, I\_1-I\_8, 2011.
- (4) 竹内康, 木幡行宏, 関根悦夫: 室内実験結果を用いたアスファルト舗装の路床の

弾性係数算出法の検討, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol. 68, No. 2, 45-53, 2012.

- (5) 寺田剛, 川名太, 久保和幸, 竹内康, 松井邦人: 移動式たわみ測定装置を用いた舗装の健全性評価手法に関する一検討, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol. 68, No. 3, I\_13-I\_20, 2012.
- (6) 川名太, 河村直哉, 松井邦人: 熱流速計を用いた舗装の熱特性値の評価法に関する検討, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol. 68, No. 3, I\_5-I\_12, 2012.
- (7) 川名太, 松井邦人: 体積ひずみを用いた軸対象分布荷重を受ける多層弾性構造の理論解, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol. 68, No. 3, I\_21-I\_28, 2012.
- (8) T. Terada, S. Horiuchi, Y. Takeuchi, T. Nishizawa, K. Himeno, T. Maruyama and K. Matsui: Superiority of Dynamic Back-calculation of FWD Time Series Data, Proc. of the 7<sup>th</sup> International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control, 2012.
- (9) 堀内智司, 久保和幸, 寺田剛: アスファルト混合物の弾性係数の範囲に関する一考察, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol. 68, No. 3, I\_1-I\_4, 2012.
- (10) 西澤辰男: コンクリート舗装の路床路盤における塑性変形の解析法, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol. 67, No. 3, I\_103-I\_108, 2011.
- (11) 西澤辰男, 本松資朗, 麓隆行, 竹津ひとみ: 3DFEM による連続鉄筋コンクリート舗装の横ひび割れ解析モデルの開発, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol. 68, No. 3, I\_155-I\_162, 2012.
- (12) 神谷恵三, 川村彰, 富山和也, 山口清人: 国際間比較に基づく高速道路における路面の局部損傷の評価法に関する研究, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol. 68, No. 3, I\_63-I\_70, 2012.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

竹内 康 (TAKEUCHI YASUSHI)  
東京農業大学・地域環境科学部・教授  
研究者番号: 90271329

### (2) 研究分担者

久保 和幸 (KUBO KAZUYUKI)  
独立行政法人土木研究所・その他部局等・  
上席研究員  
研究者番号: 80442838  
西澤 辰男 (NISHIZAWA TATUO)  
石川工業高等専門学校・その他部局等・  
教授

研究者番号：00143876

姫野賢治 (HIMENO KENZI)

中央大学・理工学部・教授

研究者番号：30156616

松井 邦人 (MATUI KUNIHITO)

東京電機大学・理工学部・教授

研究者番号：70112878

丸山 暉彦 (MARUYAMA TERUHIKO)

長岡技術科学大学・工学部・教授

研究者番号：30016646

(3) 連携研究者

神谷恵三 (KAMIYA KEIZO)

株式会社高速道路総合技術研究所・舗装研

究担当部長