レーザー技術ノート

レーザーによる路面性状計測システム

村上文夫*・大野知彦**・関敏夫**・熊川智徳**

田草川勝**・中根達英***

(1990年8月27日 受理)

Laser-based Pavement Condition Monitoring System

Fumio MURAKAMI*, Tomohiko OHNO**, Toshio SEKI**, Tomonori KUMAKAWA**

Masaru TAKUSAGAWA**, and Tatsuhide NAKANE***

(Received August 2, 1990)

A laser-based pavement condition monitoring system (PCMS) provides the longitudinal roughness, transverse deformation, and surface distress of a road simultaneously. The longitudinal roughness is detected by three displacement sensors based on laser trigonometry. The transverse deformation is measured by a structured light method utilizing a planar light pattern. The surface distress is recorded by a slit-camera. Data acquisition instruments as well as data processing and storage units are installed on a vehicle and the measurement is performed in the normal traffic flow (up to 100km/h).

Key Words: Pavement condition monitoring, Laser trigonometry, Structured light method

1. まえがき

道路は一国の社会生活や経済活動を支える基盤であり、その維持管理は極めて重要である。これを合理的に実施するには路面の供用性を判定し、それに基づいて維持修繕の時期や工法を決定する必要がある。路面の供用性の尺度として縦断凹凸（または平坦性）、横断凹凸（わだち掘れ）、ひび割れの3項目がよく用いられて

おり、これらを路面性状の3要素と呼ぶ。

従来、これらの路面性状の調査は、調査員が路面を歩いたり、接触式の測定器を台車に載せて移動したりして行っていた。その測定速度は3km/hour程度であり、長大な道路網の路面性状データの収集は困難であった。近年、オプトエレクトロニクス技術の応用によって路面性状を非接触かつ自動的に測定することが可能となり、これら測定装置とデータ収録装置を計測車

*日本無線（株）研究所（〒356 上福岡市福岡2-1-4）

**日本無線（株）システム情報技術部（〒181 三鷹市下連雀5-1-1）

***国際航業（株）情報計測事業企画管理部（〒191 日野市旭が丘3-6-1）

*Laboratory, Japan Radio Co., Ltd., (2-1-4, Fukuoka, Kamifukuoka-shi 356).

**Systems & Information Engineering Dept., Japan Radio Co., Ltd., (5-1-1, Shimorenjaku, Mitaka-shi 181).

***KOKUSAI KOGYO CO., LTD., (3-6-1, Asahigaoka, Hino-shi, 191).

両に搭載し、通常の運航速度で走行しながら高速で路面性状を計測するシステムが登場するに至った¹⁾。

本稿は、このようなシステムの一例として、著者らが開発した路面性状計測システム (Pavement Condition Monitoring System) に関し報告する。このシステムでは、縦断凹凸の測定に3連式のレーザー変位計を、また横断凹凸の測定にレーザーファンビームによる光切断法を用いている。まず路面性状の3要素の定義を紹介した後、各要素の測定方法について述べる。次いで計測システム全体について概説する。

2. 路面性状の3要素

2.1 縦断凹凸 (Longitudinal roughness)

路面の平坦性のことである。道路中心線と平行な測線上に1.5mごとに3点の測定点を取り、その前後端2点を結ぶ直線と中央点との高さの差を測定する。ある区間で測線全長にわたりこの値を求め、その標準偏差をその区間の縦断凹凸量とする。

2.2 横断凹凸 (Transverse deformation)

わだち掘れのことである。道路を路面左右のレーンマークと直行する面で切断した場合の横断形状の凹部の深さで定義される。

2.3 ひび割れ (Surface distress)

路面に生じた幅1mm以上のクラックをひび割れと呼ぶ。測定対象区間を0.5×0.5m角のメッシュに区切り、全メッシュ数に対するひび割れ検出メッシュ数の比 (ひび割れ率) により評価する。

3. レーザー変位計による縦断凹凸測定

レーザー変位計は、対象にレーザービームを投射し、三角測量の原理により対象までの距離を非接触で測定する装置である²⁾。Table I に本システムに用いたレーザー変位計の主な諸元を示す³⁾。

Fig.1 に示すように、車体の基礎フレームに

Table I Specifications of the laser displacement meter.

MEASURING RANGE	200mm
STANDOFF DISTANCE	465mm
RESOLUTION	0.1 mm
SAMPLING FREQUENCY	10 kHz
LASER WAVELENGTH	780 nm
LASER POWER	<30mW

Fig.1 Sensor configuration in the longitudinal roughness measurement.

3個の変位計センサー部を1.5mピッチで取り付ける。変位計#1、#2及び#3の読み値をそれぞれ L_1 、 L_2 、 L_3 とすれば、凹凸量 d は

$$d = (L_1 + L_3) / 2 - L_2$$

で求められる。測線全長にわたりこの値を求め、その標準偏差を計算すれば、その区間における統計的凹凸量が求められる。

従来、縦断凹凸の測定に用いられてきたプロフィールメータと呼ばれる装置は、長さ3mの台車の前後端および中心に直径150mmの車輪を取り付け、前後端の車輪で決まる基準線に対する中央の車輪の高低を測定していた。したがってそこで得られる縦断凹凸は車輪により空間平滑されたものであった。

一方、本装置に使用したレーザー変位計のビームスポット径は約1.5mmであり、1回のサンプリングではおおむねこの範囲の路面の高さが測定される。そのため路面上にピンホール等があった場合はプロフィールメータの測定値との間に誤差を生じる場合がある。本装置では変位計の測定値を所定の時間平均し、その間の計測車両の走行により空間平滑をおこない、プロフィ

Fig.2 Road surface depth along the longitudinal distance (a) measured by a conventional profile meter and (b) measured by PCMS.

ルメータの測定値に近づけるようにした。

テストコースを対象とし、その縦断凹凸を従来のプロフィールメータで測定した結果を Fig.2 (a) に、本システムで測定した結果を Fig.2 (b) に示す。本システム測定時の車速は30km/h、平均時間は6.4ms、計測間隔は100mmである。両者はよく一致している。

4. 光切断法による横断凹凸測定

レーザー光を扇状に成形し（ファンビーム）、路面上に投射する。これにより生ずる路面上の輝線を投射ビームと異なる方向からCCDカメラにより観察することにより、路面の断面形状に対応する画像を得る。計測幅4.8mを確保するため、それぞれ2台のファンビーム発生器とCCDカメラを用いている。装置構成をFig.3に示す。

ファンビーム投光器は、発振波長835nm定格出力80mWの半導体レーザを光源とし、左右の広がり角90度、路面上でのビーム厚み約20mmに成形したファンビームを、計測車の後部から路面に対し入射角63.5度で投射する。投光器は車体左右に2.1mの間隔で2個取り付け、約5mの合成照射幅を確保する。

Fig.3 Transverse deformation measurement sub-system.

Fig.4 Transverse deformation measured by PCMS.

CCDカメラは画素数768H×493Vのものをいい、計測車の後部左右端、路面より1900mmの位置に光軸が路面と垂直となるよう取り付けられている。CCDカメラの走査方向は輝線に対し直交するよう設定されている。2台のカメラの取り付け間隔は2.2mであり、約5mの合成撮像範囲を確保している。路面の横断凹凸を2.5m毎にサンプリングするよう2台のCCDカメラは同期して外部トリガでシャッターが切られる。シャッター速度は1/120秒である。

2台のCCDカメラの画像信号をそれぞれ8ビットのA/D変換器で量子化し、走査線上で輝度分布の重心位置を演算する。この処理を走査線4本につき1本の割合でおこない、2枚の光切断の画像を得る。深さ方向の分解能は2.3mm、幅員方向の分解能は21.5mmである。

これら2枚の光切断画像を接続して連続した横断凹凸プロファイルを得るため、定格出力5mwの半導体レーザを光源とする基準スポットを、車体後部の中心線上、ファンビーム軌跡中心から約180mm内側に照射する。左右の画像中スポットビームの輝点の重心位置をサーチしてこれを結合ポイントとする。結合ポイントのある走査線と切断プロファイルの交点が一致

Fig.5 Surface distress measurement sub-system.

するよう一方の切断プロファイルを平行移動し、接続する。

このようにして得られた横断凹凸プロファイルは、車体の上下動およびローリングの影響を除去するため、最小二乗法により近似した直線が基準水平線に一致するよう回転、ならびに平行移動を施され、目的とした最終データを得る。Fig.4に測定結果の一例を示す。

5. スリットカメラによるひび割れ測定

路面を400Wのメタルハロイドランプ4個で斜め上方より照明し、垂直上方よりスリットカメラにより長尺の35mmフィルムに路面の表面状態を撮影する。撮影はフレーム撮影ではなく連続スリット撮影であり、車速に応じてフィルム送り速度を変化させ、縦横の撮影倍率比が常

Fig.6 Photograph of PCMS.

に1となるよう制御している。装置構成をFig.5に示す。

路面状態を撮影した35mmフィルムは、基地局で現像処理した後、半自動解析装置にかけ、路面に存在する各種の損傷を検出する。

6. 路面性状計測システム

6.1 計測車両

Fig.6に計測車両の外観写真を、Fig.7に測定装置類の配置を示す。計測車は4トンのトラックベース上に

Fig.7 Configuration of data acquisition instruments and data control units.

(1) 縦断凹凸測定用センサとしてレーザー変位計 3 台,

(2) 横断凹凸測定用センサとしてファンビーム発生器と CCD カメラ各 2 個,

(3) ひびわれ用センサとして路面照明装置 1 式とスリットカメラ 1 個

(4) 速度距離計

(5) センサからのデータを同時処理する高速の 32 ビットスーパーミニコン (JAC150/85E)

(6) 発電機 (7.5kW), エアコン (800kcal) が搭載されている。

Fig.8 Block diagram of PCMS.

6.2 データの記録および処理

Fig.8 に計測データの記録および処理の系統図を示す。空間フィルタ式非接触速度距離計 (小野測器製 LC-500) を使用し, 0 ~ 100km/h の速度範囲で走行距離 10mm ごとにパルスが発生し, これで 3 要素を同期して測定し, 整合性のある測定データを得ている。

収集された横断凹凸データはカメラごとに 1 台, 計 2 台の標準 8 mm テープカートリッジを用いる磁気記録装置 (CMT) に記録される。縦断凹凸データは一方の CMT に合わせて記録される。CMT の実効転送速度は毎秒 222 キロバイト, データ容量は最大 2 ギガバイトである。1 km 走行につき, 縦断凹凸データはレーザー変位計 3 台で 600 キロバイト, 横断凹凸データはカメラ 1 台あたり 6.4 メガバイトとなる。したがって 2 本のテープに 280km ぶんの路面情報が記録される。

これらの路面情報は基地局内に設置された 32 ビットエンジニアリングワークステーション (JRC/DOMAIN) によりオフラインで解析処理される。

7. まとめ

レーザーによる高速自動路面性状計測システムについて報告した。本システムにより, 路面の性状を規定する 3 要素 (縦断凹凸-平坦性, 横断凹凸-わだち掘れ, ひび割れ) が 1 回の走行で自動的に計測可能である。またこれら 3 要素の測定は単一の速度距離計で制御しているため, 3 要素間の整合のとれた結果が提供できる。計測速度は 0 ~ 100km/h (ひびわれのみ 0 ~ 90km/h) の範囲で任意であるため交通規制が不用である。したがって高速道路や一般道路において場所的・時間的制約を受けることなく高速でデータ収集が可能となり, 道路維持作業の大幅な効率化が期待できる。

参考文献

- 1) 加藤昌太郎: 映像情報 17 No.10 (1985) 47.
- 2) 村上文夫: レーザー研究 16 (1988) 292.
- 3) 村上文夫, 橋本広嗣, 五十嵐祐明, 有賀輝: 日本無線技報 27 (1988) 35.