

大阪大学工学部 正員 川谷 充 郎
大阪大学工学部 正員 小 松 定 夫

1. まえがき 路面凹凸性状は、10数年前より走行自動車の乗心地等に関連して調査報告され、また最近、橋の動的応答に関連して橋面凹凸が注目されているが、未だ基礎資料として充分とは言えない現状である。それらの測定方法は、水準測量、多車輪式プロファイルメータの使用および振動特性既知の自動車走行時における車の振動スペクトルを用いる方法等であるが、これらの方法では、一般交通流を阻害せずに長波長までの路面凹凸を測定できない。これが未だ広範囲に統計データを収集できない原因と考えられる。本研究で試作したレーザ光線による非接触型変位計を用いた光学式路面プロファイルメータは、迅速に、短波長から長波長までの路面凹凸を測定できるものである。本プロファイルメータの測定結果を検証するため、水準測量により求められた路面凹凸との比較検討を行なう。また、高速道路における測定結果についても述べる。

2. 測定システム (1)非接触型変位計 図-1に示すように、He-Ne気体レーザ光線を鉛直面に対して45°の角度で路面に照射し、その反射光を受光レンズで集めてイメージセンサ上に像を結ばせる。イメージセンサは自己走査型フォトタイオードアレイであり、512個の光検出素子が28μmの間隔で並べられており、受光素子の位置を測定することにより変位計から路面までの距離が求められる。キャリアレーションの結果、この非接触型変位計は約0.16mmの分解能を有することが分かった。

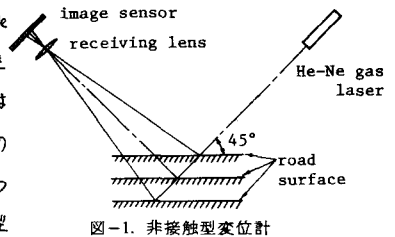


図-1. 非接触型変位計

(2)プロファイルメータの原理¹⁾ ①対称系プロファイルメータ 図-2のよう

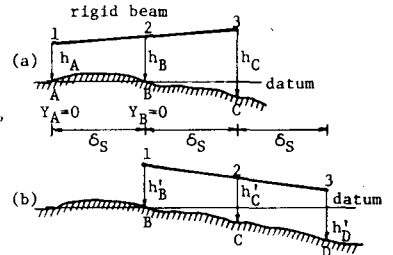


図-2. 対称系プロファイルメータ

うに3個の非接触型変位計を一直線上に等間隔 δ_s で配置し、それぞれ路面までの距離 h_A, h_B, h_C を測定する。基準線を直線ABとすると、C点の高さは、

$$Y_C = 2Y_B - Y_A - (h_A - 2h_B + h_C) = -(h_A - 2h_B + h_C) = u_1 \quad (1)$$

プロファイルメータが δ_s だけ前進すると、 h'_B, h'_C, h'_D が測定され、基準線からD点までの高さ Y_D は、

$$Y_D = 2Y_C - Y_B - (h'_B - 2h'_C + h'_D) = Y_C + u_1 - 0 + u_1 = Y_C + \frac{\delta_s}{\delta_s} u_1 \quad (2)$$

このように δ_s ずつ離れた地点の基準線からの高さがD点の高さと同様に順次計算される。上の2式において、 u_1 は、プロファイルメータの高さやピッチングの変化の影響を受けずに変位計のワーキングレンジ内ならば与えられる値である。

②非対称系プロファイルメータ 短波長の波の測定は、 δ_s を小さくすることにより可能であるが、路面粗度の影響は避けがたく、測定精度が悪くなる。そこで図-3のような非対称系プロファイルメータにより、短波長の波を測定できるようにする。

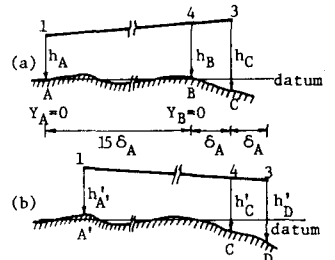


図-3. 非対称系プロファイルメータ

$$Y_C = \frac{m}{m-1} Y_B - \frac{1}{m-1} Y_A + w_1, \quad w_1 = -(h_C - \frac{m}{m-1} h_B + \frac{1}{m-1} h_A), \quad m=16 \quad (3)$$

プロファイルメータが δ_A だけ前進すると、 h'_A, h'_C, h'_D が測定され、基準線からD点までの高さ Y_D は、

$$Y_D = \frac{m}{m-1} Y_C - \frac{1}{m-1} Y_A + w_2, \quad w_2 = -(h'_D - \frac{m}{m-1} h'_C + \frac{1}{m-1} h'_A), \quad (Y'_A = 0 \text{ と仮定}) \quad (4)$$

このように δ_A ずつ離れた地点の高さが順次求まる。非対称系プロファイルメータでは、路面粗度の影響が大きく、長波長までの波を測定できない。そこで、長波長の波を対称系、短波長の波を非対称系プロファイルメータで測定し、それらを重ね合わせることで、広範囲の波長の波を測定できる。

(3)光学式路面プロフィルメータ 本研究では、図-4のような光学式路面プロフィルメータを試作し、0.125m毎の路面凹凸を測定する。ch1, ch2, ch3で対称系, ch1, ch4, ch3で非対称系の機能を有する。本プロフィルメータの操作はマイコンで制御し、測定データもRAMに記憶し、それをマイコン本体に装着しているカセット磁気テープに転送し保存する。

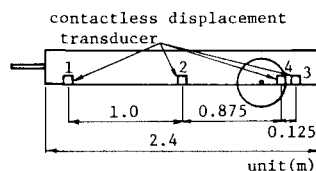
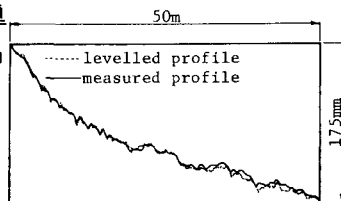


図-4. 光学式路面プロフィルメータ

3. 問題点とその対策 (1)基準線の傾きの影響 前章で仮定した基準線は必ずしも水平ではないので、計算された路面の高さは、基準線の傾きを含むことになる。これを補正するため、測定区間の始点と終点を水準測量することによって基準線の傾きを補正できる。 (2)非対称系における初期値の影響 非対称系プロフィルメータ(図-3)において、AB間の基準線からの高さを測定開始時に0と仮定しているために誤差が生ずる。しかし、この誤差は測定開始点より離れた程減少するため、測定区間の20m手前から測定開始することにより、この誤差の影響を無視できる程度に小さくすることができる。



operating speed = 30km/h
time interval of readings = 2msec
図-5. 路面凹凸測定値

(3)車体のひずみの影響 プロフィルメータの車体に歪みひずみがあれば、変位計は一直線に並ばないことになり、前章の測定原理が成立しない。そこで、定盤上における4個の変位計の測定値を基準値とし、式(1)~(4)における h_i に(h_i -基準値 i)を代入することにより、この問題は解決する。 (4)基準値の測定誤差 この基準値測定に含まれる誤差が、路面凹凸に2次放物線的な誤差を生じさせる。この誤差の補正には、測定区間の始点を水準測量し、始点の路面凹凸値がこの測量値に合うように基準値を決定する。

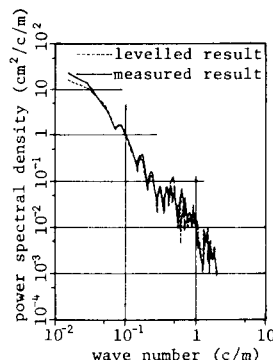


図-6. 路面凹凸パワースペクトル密度

4. 測定結果および考察 本プロフィルメータにとって最適な測定時間々隔および走行速度を得るため、それらを種々変化させて測定した結果、それぞれ約2msecおよび約30km/hが最適であることが分かった。 (1)大阪大学吹田地区構内の舗装駐車場における本プロフィルメータによる路面凹凸測定値と水準測量値を比較すると図-5に示すように、長波長の変動から局所的な凹凸まで広範囲の波長特性を有する波形について良く一致している。また、それらのパワースペクトル密度を比較すると図-6に示すように良く一致している。 (2)阪神高速道路において、比較的古い路面として恵美須町入口ランプおよび開通後間もない大股湾岸線選定し、測定した路面凹凸パワースペクトル密度とISO評価基準を図-7に対比して示す。ちなみに、ISO評価基準は走行自動車の振動乗心地により決められたものである。これら2つの路面凹凸スペクトルを用いて、交間長50mの単純合成桁橋の走行荷重による非定常不規則振動を解析した²⁾。その結果を図-8に示す。これら2種の路面凹凸スペクトルを用いた場合、無次元係数 $\sigma_{y_1}/\sigma_{y_{1max}}$ に非常に大きい差異を生じることが分かり、路面凹凸の橋の衝撃に与える影響の大なることが認められる。

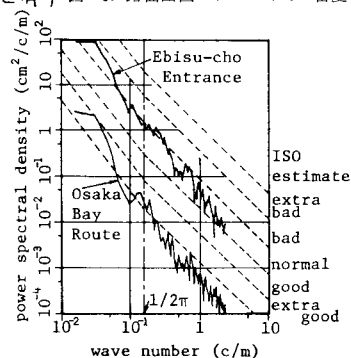
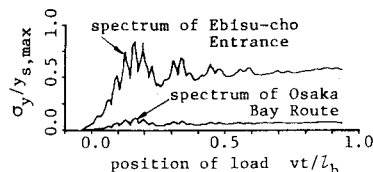


図-7. 路面凹凸パワースペクトル密度（阪神高速道路）

5. あとがき 本研究において試作した光学式路面プロフィルメータは走行速度約30km/hで充分な精度で路面凹凸を測定し得ることが明らかになった。本研究は科学研究費補助金試験研究の補助を受けたことに対し謝意を表す。また阪神高速道路公団工務部の石崎浩氏および当時大阪大学工学部学生の中家章夫氏には路面凹凸測定に際して御協力頂き、感謝申し上げる次第である。



span length = 50m, vehicle model = 2-DEG
vehicle weight = 20t, moving speed = 36km/h
図-8. RMSたわみ応答

参考文献 1) Stoll, P.B. and P.G. Jordan, TRRL Lab. Rept. No. 922, 1980. 2) Komatsu, S. and M. Kawatani, Technol. Repts. Osaka Univ. Vol. 32, March, 1982.