

V—5 非接触プロフィール測定システムについて

北海道工業大学 正会員 犬塚 雅生

学生員 柴田 達也

学生員 坂根 徹

1. まえがき

最近、スパイクタイヤの増加にともない路面の摩耗が著しく問題となっている。

特に交通量と路面材料との関係や寒冷地域における厳しい気象条件など、スパイクタイヤによる摩耗の影響量の測定が、実際の道路面における正確な摩耗量調査に不可欠である。

これまでに行われた調査法として、ダイヤルゲージを動しながら測定する接触方式や、路面に固定ピンを埋設しこれを基準点として水系を張り等間隔で路面形状を測定する方法などがあったが、これらは時間と手間がかかりかつ不正確であった。ゆえに本研究の目的は、いかに路面表層等における摩耗状態などの断面形状を迅速でかつ正確な測定を行うものである。

2. 測定システム

2-1 概説

非接触プロフィール測定システムは、 24GHz ($1\text{GHz} = 10^9\text{Hz}$) 帯マイクロ波を用いた非接触変位検出システムである。

本システムの測定原理は、測定面から反射してくるマイクロ波の伝達遅れ時間をマイクロ波位相の遅れとして検出するもので、反射面の変位 ΔR と検出位相の変分 $\Delta \theta$ との間には次式の関係がある。

$$\Delta \theta = \frac{\Delta R}{\lambda/2} \times 2\pi \quad (\text{ラジアン}) \quad \dots (1) \quad \text{但し、}\lambda: \text{波長} \\ 0 \leq \Delta R \leq \lambda/2$$

本システムは上記式(1)の $\Delta \theta$ を位相検出し、変位比電圧 V_b として出力している。また、本システムでは信号処理により $\lambda/2$ を超える ΔR についても測定可能にしている。

本システムは上記マイクロ波変位計、データ記録装置、光波距離計により構成され、測定面に平行な掃引を実施することにより測定断面内のプロフィール計測を行うことができる。

2-2 マイクロ波部

a. 測定レンジ

変位計には A, B 2 種類の測定レンジがあり、変位比電圧に変換すると A レンジでは、 $(V_b)_A = (\Delta R / \lambda/2) \times 5\text{V}$

$$\text{即ち} \quad \Delta R = \lambda/2 \times (V_b)_A / 5\text{V} = 1.25\text{mm/V} \times (V_b)_A \quad \dots (2)$$

また B レンジでは、 $(V_b)_B = (\Delta R / \lambda/2 \times 8) \times 5\text{V}$

$$\text{即ち} \quad \Delta R = \lambda/2 \times 8 \times (V_b)_B / 5\text{V} = 10\text{mm/V} \times (V_b)_B \quad \dots (3)$$

のような変位感度となる。

レンジ A は本装置の基本となるレンジで、マイクロ波波長の $\lambda/2$

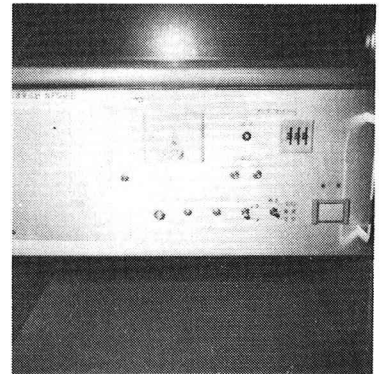


写真1. マイクロ波変位計

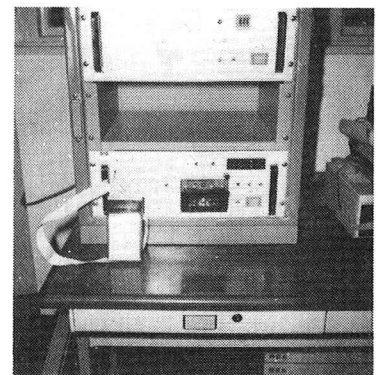


写真2. データ記録装置

に相当し、受信々号の連続性に無関係にオフセット（相対ゼロ点）が保存される。即ち同一測定点の測定結果は、測定中に例えばマイクロ波が遮断されても、障害物が取除かれれば一致（復帰）する。

レンジBは、基本レンジのオーバーレンジ回数とオーバーレンジ極性を元にして8回分のたたみ込みを行っている。結果としてBレンジはAレンジの8倍の測定範囲を持っている。レンジBの処理過程には本質的に変位の時間的变化を連続的に追ってオーバーレンジ数を積算する過程が含まれているので、変位の不連続な変化（段差の測定、受信波の消失）に対して相対ゼロ点が保存されないという条件がつく。

測定に不連続性が生じた場合、レンジBの出力は $\lambda/2$ 波長の整数倍の誤差を含んだものとなり、障害要因を除去しても誤差は残ったままとする。

b. 変位出力

変位出力は変位 ΔR (mm)との間に(2)式の関係または(3)式の関係にあることは既に述べたが、変位 ΔR が大きく、出力電圧が0～5Vの範囲を超えようとする場合、図1のように変化する。

c. シフト

Bレンジ時に変位オフセット操作を行う場合、シフトが発生する場合がある。この場合本装置のシフトスイッチで一巡させ元の値に戻す必要がある。シフトスイッチはBレンジだけで有効であり、一回押し下げることにより変位出力は $\lambda/2 = 6.25\text{ mm}$ ずつ増加方向にオフセットされる。つまり8回押すことにより位相は一巡し、出力はもとの値に戻る。（Bレンジの出力が0.625Vずつステップ状に増加し、8回で最初の値に復帰する。）電気的にはBレンジでの分周から一周期分を欠落させる操作であり、一回押す毎に分周後位相の 45° 移相器として動作している。

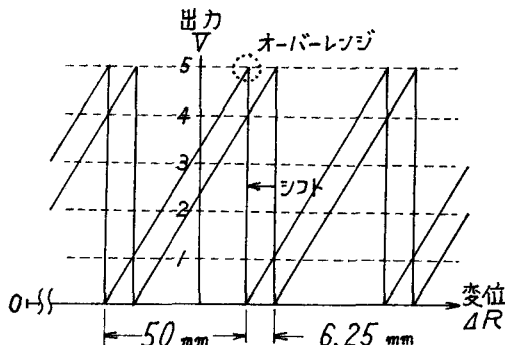


図1. 変位と出力の関係
(Bレンジの場合)

d. 変位オフセット

変位オフセットはアンテナ設置後の位相（変位）基準点をオフセットするための調整器であり、本装置変位計の正面パネル上サムホイール型デジスイッチ（10進3桁）により設定する。可変範囲は0～6mm、0.05mmステップで、設定数値としては0～130以内で使用する。変位オフセットが無効の場合、デジスイッチの左にある設定表示灯が暗転する。

変位オフセットの電気的な意味は、検出位相の遅延である。したがってこの操作により変位出力の電圧範囲が変化することはない。また、変位オフセットとシフトスイッチを併用することにより、任意のオフセットとシフトスイッチの無効範囲及びスイッチでの切替え中は受信停止と同様の状態となる。

特にBレンジで変位オフセットを変える場合は変位オフセットを先に行い、シフト操作を後にする。

e. 波数出力とリセット

$N = \text{整数部}(\Delta R / \lambda/2)$ を波数と呼び、測定開始後の位相変化が 2π 単位で何回増減したかを信号処理（波数カウンタ）により積算計数し、デジタル12ビット信号としてパラレルに出力している。この信号と、Aレンジ測定結果（ V_R ） $\lambda/4$ とから $\lambda/2$ より大きな ΔR について正確な検出値を算出できる。

$$\Delta R = \lambda/2 \times N + (V_0)_A \times 1.25 \quad (\text{mm}) \quad \cdots (4)$$

この出力は測定レンジの選択にかかわらず、同一のパターンで行われ、変位の増分に対して $\lambda/2$ 単位でプラス/、減少に対してマイナス/で任意のリセットまでの波数を検出することができるものである。

本装置は N と V_0 を記録・再生することができる。上記式の(4)の計算は、コンピューター等により後処理で行う。電源投入後の波数出力はランダムであり、測定開始に先立ってカウンター内容のクリアーを行う。この操作がリセットで本体正面のリセットスイッチを押下げることにより実施する。測定を継続しながらレーン変更等を行う場合も、記録は常に記憶されているので中断等のトラブルに対しても安定した測定を可能にしている。

なお、 B レンジの計測においては N の計測成立条件として、受信々号の連続性が求められる。即ち、測定面の段差、測定ビームの一時的遮断等によって 6.25 mm の整数倍の非復帰性誤差が発生する。したがってレーン変更等を実施する際、上記条件の範囲で行うという制約をうける。

f. アンテナとビームセンター

アンテナは、マイクロ波検出部のアンテナガード内に送信用と受信用各一が設けられている。マイクロ波の送受信は、アンテナの直近を除いて送受信アンテナ開口を含む面の中心を通り、この面に垂直な線に沿って最も強く行われる。

本装置用の各アンテナは、限定された範囲の距離測定を対称としている。このため、その測定範囲の変化によってアンテナの交換を行うことで処理する。 $50 \sim 100 \text{ mm}$ の範囲は一般的と考えられ、ロングレンジアンテナを使い、 $20 \sim 50 \text{ mm}$ の範囲はショートレンジアンテナを用いる。

3. 測定方法

3-1 検出部の位置決め

検出部についてはアンテナと測定面間距離を 100 mm 以下に保つ。ビームセンターが測定平均面に対し垂直入射のとき、測定の最適条件になるが、マイクロ波指向性は比較的広角であるから $\pm 4^\circ$ の誤差が許容される。

3-2 Xデーター（水平方向の距離）

任意の水平測定断面において、マイクロ波検出部はアンテナ駆動軸上で測定距離範囲内（駆動軸長：X軸上）を移動する。

この移動距離をXデーターとして、光波距離計が測定し、そのままデーター記録装置に10進法で入力する。

3-3 Zデーター

任意の垂直測定断面において、アンテナから測定面までの変位を検出部より位相差 $\Delta \theta$ として測定し、変位計で電圧に変換さず、変位出力モニターに変位量が出力される。その値は、データー記録装置に16進法で入力される。

3-4 データー出力

XデーターとZデーターとは、データー記録装置からコンピューターを用いて計算処理と図形処理とを行い、断面形状の情報として出力される。

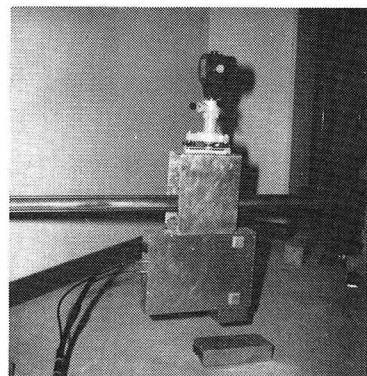


写真3. マイクロ波検出部

4. 結 論

測定システムのソフトとハードを組み合わせ、次のような2例に応用した。

例1. 斜 面

図2は、スチール製の供試体にわずかな傾斜をつけ設置し、(写真3参考)、測定後コンピューター処理により各測点における変位をそれぞれX軸(cm)、Z軸(mm)としてあらわしたものである。

図2は、変位量を連続値として各点での精度を±0.05mm以下に保ちながらとらえている。

測定の途中、マイクロ波検出部が横(Y軸)方向にゆれたためXデーター2cm付近において変位量が急激に増加した。

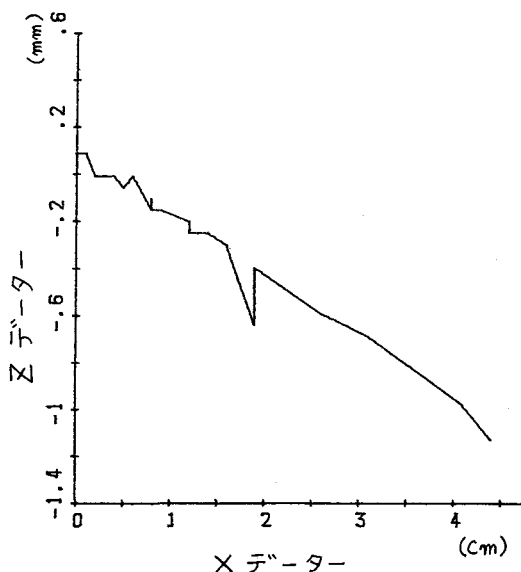


図2. スチール斜面のグラフ

例2. 水平面

図3及び図4は、例1と同じ供試体を用いて、検出部を測定面と平行になるように設置し、測定及びデーター処理したものである。

図3はレンジAで測定したもので、測定感度が不十分であり、測定面からの有効な情報が得られていない。

図4はレンジBで測定したものである。レンジAと比較してみると、レンジAでの単調なグラフに対し8倍の精度をもつレンジBでは、測定面の起伏に対して鋭敏な反応がみられる。

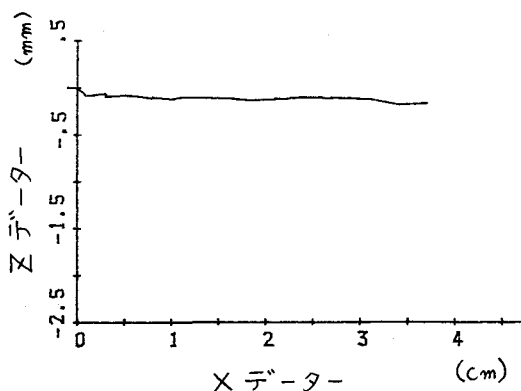


図3. スチール水平面のグラフA

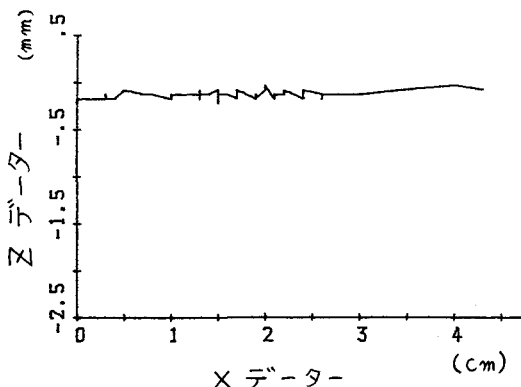


図4. スチール水平面のグラフB

以上のことから、マイクロ波を用いた距離測定システムが、任意のプロフィール測定に対して能率のよい情報処理手段として機能する可能性を見出した。

特に測定作業が非接触的に行われ、また塵等の雑音に融通性があることと合わせて、広範囲の土木構造物への応用の進むことが予測される。