

SASW 試験の測定データを用いた間引き処理に関する考察

中央大学	学生会員	久保寺	貴彦
中央大学	正会員	董	勤喜
中央大学	フェロー	姫野	賢治
東京電機大学	フェロー	松井	邦人
北見工業大学	正会員	白川	龍生

1. 背景と目的

舗装構造評価の非破壊試験機として広く実用化されている FWD(Falling Weight Deflectometer)がある。FWD 試験は、舗装表面に衝撃荷重を作用させたときに生じる表面たわみを数点で測定し、荷重と表面たわみを用い逆解析から各層の弾性係数を推定し、構造評価を行う。ただし、逆解析を行う際、舗装構造のモデル化と弾性係数の初期値の設定が必要となる。

そこで、同じ非破壊試験として研究段階ではあるが、順解析で各層の層厚と弾性係数が推定可能とされる SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) 試験が注目されている。SASW 試験は、舗装表面に衝撃荷重を作用させたときに表面に設置された受信子の加速度を測定し、受信子間の位相差を利用し、周波数ごとの位相速度から分散曲線を求めて、各層の層厚と弾性係数の推定を行う。SASW 試験の現状として、舗装分野では実用化に至っていない。その理由としては、解析・実測とともに分散曲線の精度が低いことにある。分散曲線の精度に与える影響の要因として、数値解析においては、各層の減衰の設定、FFT に代わる周波数分解など、実測においても、ノイズの除去、受信子位置の設置などが指摘されている。ここでは、実測について述べる。実測の分散曲線において、全体的に不規則なプロットが見られる。特に、剛性の高い表層に相当する高周波帯の位相速度の相違および受信子の位置の選択による相違などが見られる。この 1 つ原因として、受信子での測定加速度波形にノイズの混入が考えられる。本研究の目的として、分散曲線にノイズの影響を減少させるため、測定加速度波形において 2 点ずつ及び 4 点ずつに間引き処理を行い、ノイズを含んだ分散曲線の精度を向上させることである。

2. SASW 試験

2.1. 測定概要

測定場所は埼玉県比企郡鳩山町にある東京電機大学キャンパス内の密粒度アスファルト舗装であり、測定日は 2004 年 8 月 16 日(晴天、測定時気温 30)である。層厚を把握するため、測定前にボーリング試験が行われ、各層厚は、表層 0.05m、路盤 0.25m、路床 1.70m という結果が得られた。載荷方法はインパルスハンマーを用いた。受信子を載荷点からの距離 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5m の計 5 箇所に設置した。受信子は、高周波数域を測定可能とするため、圧電式加速度計である。受信子のサンプリング時間間隔は 4.8828125×10^{-5} s である。

2.2. 間引きと FFT のサンプリング定理

受信子により測定された電圧の時系列波形と、間引きを 2 点ずつと 4 点ずつにおいて行った時系列波形の例を図 1 に示す。なお、受信子は載荷点から距離 0.3m に設置されたものである。測定波形について 2 点ずつと 4 点ずつに間引き処理を行うと、サンプリング間隔がそれぞれ 2 倍及び 4 倍となるが、時系列波形はほとんど変化しないことがわかる。図 1 に示したそれぞれの時系列を FFT により周波数スペクトルに変換した波形を図 2 に示す。PSD が 1×10^{-8} のレベルのとき周波数が落ち着くので上限周波数と仮定すると、実測データの上限周波数は 9kHz 程度であるが、間引き 2 点では 5kHz 程度、間引き 4 点では 2.5kHz 程度になることがわかる。

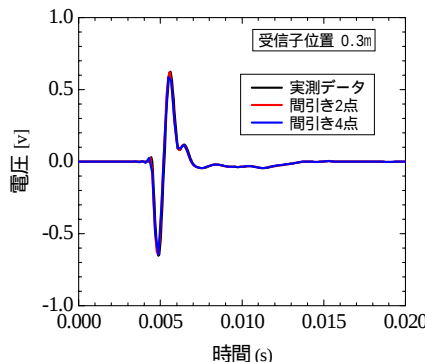


図 1 測定データの時間領域

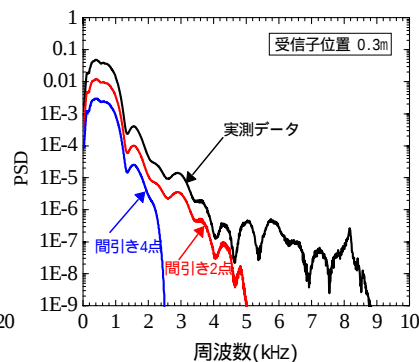


図 2 測定データの周波数領域

キーワード : SASW 試験, 間引き, FFT, 分散曲線

連絡先 : 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL 03-3817-1796

このことは、FFT のサンプリング定理により、サンプリング時間間隔 Δt と数値解析で可能な上限周波数 $f_{\max}$ の関係は、 $f_{\max} = \frac{1}{2\Delta t}$ という関係があるので、サンプリング時間が長くなると上限周波数は低くなるためである。同様の間引き処理を、載荷点からの距離 0.1, 0.2, 0.4, 0.5m に設置された受信子についても行った。

2.3. 分散曲線

受信子位置が分散曲線に与える影響を把握するため、受信子位置が 0.1m と 0.2m, 0.2m と 0.3m, 0.3m と 0.4m, 0.4m と 0.5m のそれぞれから分散曲線を求めた。また、間引き処理が分散曲線に与える影響を把握するため、それぞれの受信子で間引きを 2 点ずつ及び 4 点ずつ行ったときの分散曲線も求めた。このときの分散曲線を図 3 に示す。

図 3 の実測データに着目した場合、どのケースも共通して、波長が長くなると位相速度が遅くなることで、下層に行くに従って弾性係数が低くなることがわかる。

しかし、それぞれの位相速度と波長の値に着目すると、受信子の位置によって変化することがわかるが、その変化の規則性や傾向を把握し難いこともわかる。このため、不規則なプロットを含む分散曲線の取捨選択が必要と考えられる。

次に図 3 の間引きに着目した場合、どのケースも間引きの 2 点ずつと 4 点ずつでは、0 に近い低波長域以外ほとんど変化しないことがわかる。(a)と(b)において、間引きがあると、分散曲線そのものが変化する一方、(c)と(d)において、実測と間引きが 0 に近い低波長域以外ほとんど変化しないことがわかる。これより、(a)と(b)の実測データは間引くと元の測定データの性質を失っていることから、ノイズの存在は大きいと考えられる。逆に、(c)と(d)の実測データは間引いても元の測定データの性質を失っていないことから、ノイズの存在は小さいと考えられる。(c)と(d)で波長が 0.5m 以下の低波長帯(すなわち高周波数帯)で位相速度が変化する周波数帯は、図 2 から、2.5kHz 以上であると考えられる。(c)において上限周波数が高くなる(実測)と、波長が 0.5m 程度以下では位相速度の分解率は高くなる一方、波長が 0.5m 程度以上では上限周波数が低いとき(間引き 4 点)と同様であることがわかる。表層内部は均一層とみなす仮定と、上限周波数が高くなっても表層上部だけが変化的ことから、表層の位相速度の推定は、ある地点(例えば極端に 0 に戻る地点)で区切るなどの簡易的な処理は有効であると考えられる。

3. 結論

間引き処理によりノイズの有無を考慮すれば、受信子位置の取捨選択が可能である。間引きにより上限周波数が変化することで、表層内部の位相速度の変化がつかめた。

4. 今後の課題と方向性

今後、間引き処理とコヒーレンス関数との関係を調べていくことである。現在、SASW 試験は舗装分野で精度が低い問題があるが、表面波試験で得られた各層の層厚と弾性係数を試験舗装の構造と初期値をとり、FWD 試験の逆解析を行えば、両方の欠点を補うことで構造評価精度の向上が期待される。

【参考文献】大久保信行：機械のモーダル・アナリシス，中央大学出版部，1982.5

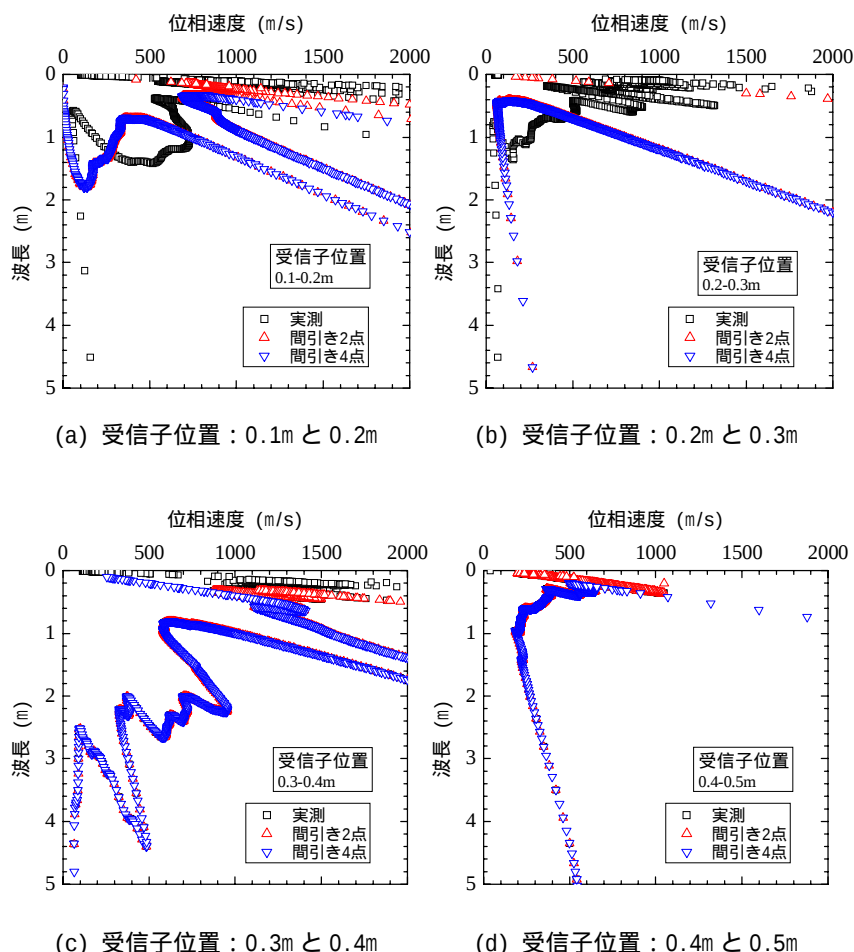


図 3 分散曲線