

表面波試験法によるアスファルト舗装構造の評価

中央大学大学院 学生会員 ○渡邊 剛

中央大学 フェロー会員 姫野 賢治

東京電機大学 フェロー会員 松井 邦人

中央大学 正会員 董 勤喜

1. はじめに

舗装構造評価の非破壊試験機として最も実用化されているのはFWD(Falling Weight Deflectometer)である。FWD 試験は、測定した表面たわみ形状から構造評価を行う。一方、表面波の伝播速度から分散曲線を求め、構造評価を行う SASW (Spectral Analysis of Surface Wave：表面波スペクトル解析) 試験が注目されている。SASW 試験は、各層の弾性係数と層厚の推定が可能である。しかし、現在、実験から得られた表面波の伝播速度では分散曲線の精度が低く、層厚推定が困難である。そこで、本研究では、数値シミュレーションを用いた解析から分散曲線を求め、理論的に SASW 試験の確立を目指す。

2. SASW 試験

SASW 試験とは、発振子で舗装表面を加振させ、受信子で表面波を測定する。測定した波形から波長と位相速度の関係より分散曲線を求めて、舗装の層特性（各層の弾性係数、層厚）を推定する構造評価法である。ここでの表面波とは、半無限体の表面付近に起こるレイリー波のことである。半無限体を伝播する波には、実体波であるS波とP波も存在するが、表面近傍ではレイリー波が全エネルギーの 70%を占めているため、一般に SASW 試験で測定される加速度波形はレイリー波のみと仮定し解析している。

3. 解析モデル

数値シミュレーションは開発した動的軸対称有限要素プログラム PAVE2D を使用し、4 層軸対称モデル（水平方向 5m ×鉛直方向 10m）で解析を行った。各層の材料特性と層厚を表-1 に示す。有限要素メッシュ分割は、水平方向を載荷点に近い方から 0.005m × 5, 0.025m × 7, 0.20m × 24, 鉛直方向を 0.01m × 15（アスファルト層）、0.03m × 5（上層路盤）、0.06m × 4（下層路盤）、0.473m × 20（路床）とした。要素の種類は、8 節点アイソパラメータの四角形要素を用いた。したがって、解析に使用する全節点数は 4913、全要素数は 1584、全体の自由度は 9504 となる。境界条件は、右側と底部ともに完全拘束とした。解析時間は 20 秒であった。

また、各受信点の位置関係は図-1 に示す。図-2(a)と 2(b)に示すような理論値と実験値の荷重を分布荷重（インパルスハンマー半径 0.025m）で載荷した。実験値とは測定した載荷荷重である。

表-1 舗装構成層の材料特性

舗装構成層	弾性係数 [MPa]	密度 [kg/m ³]	ポアソン比	層厚 (m)
アスファルト層	5880	2300	0.35	0.15
上層路盤	588	1900	0.35	0.15
下層路盤	196	1800	0.35	0.24
路床	98	1800	0.35	9.46

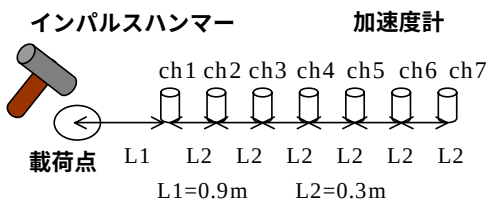


図-1 SASW 試験概要

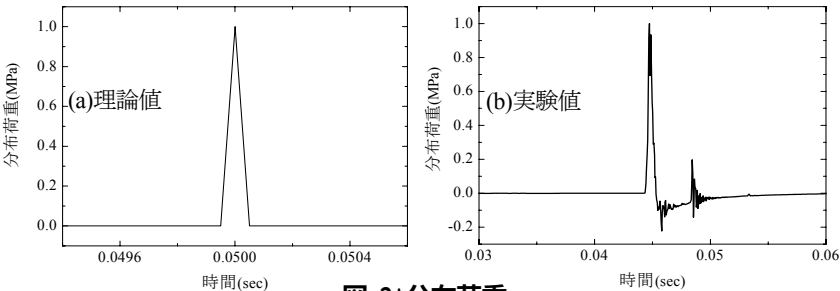


図-2: 分布荷重

4. 解析結果

数値シミュレーション結果により得られた受信子 ch1～ch4 の各加速度波形を使用し、高速フーリエ変換（FFT 法）を行った。得られた位相速度・波長・周波数から分散曲線を描く。載荷荷重に理論値と実験値を用いた分散曲線を図-3(a)と 3(b)に示す。載荷点からの距離が遠い受信子で受信された加速度波形は安定した分散曲線が得られないことから ch1～ch4 を選択した。また、載荷荷重に理論値と実験値を用いた分散曲線の比較結果を図-4 に示す。

また、推定される層厚に対する弾性係数の影響を調べるため、弾性係数は 5880MPa、4900MPa と 3920MPa を変化させ分散曲線を描いた。載荷荷重に理論値と実験値を用いた場合を図-5(a)と 5(b)に示す。

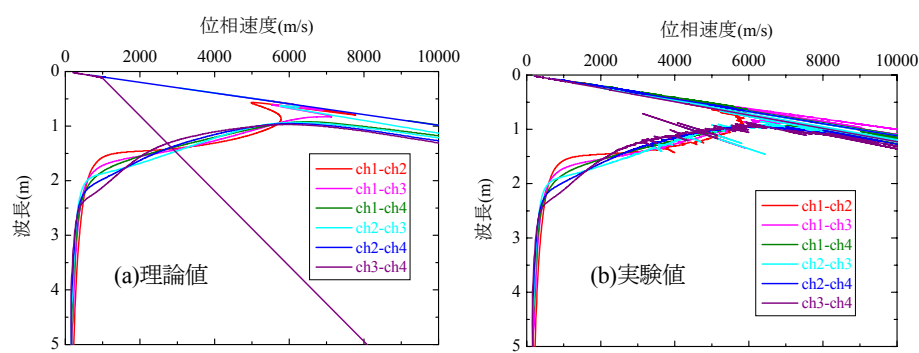


図-3 位相速度と波長の関係

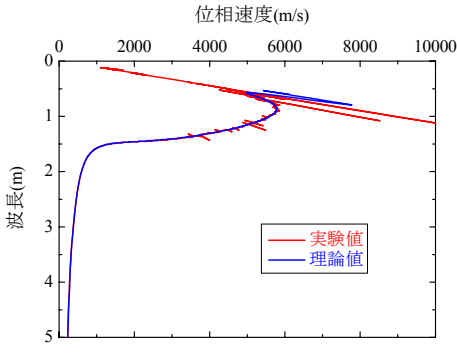


図-4 位相速度と波長の関係

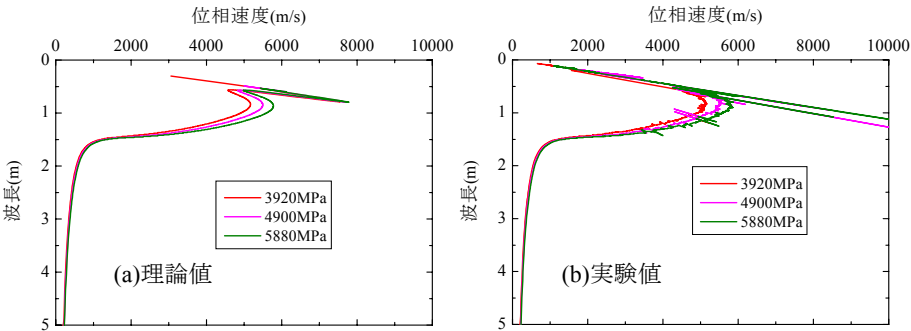


図-5 弾性係数を変化させた位相速度と波長の関係

表-2 推定された層厚

舗装構成層	層厚(m)	
	真値	0.2λ
アスファルト層	0.15	0.16
上層路盤	0.15	0.14
下層路盤	0.24	0.26

図-3 において、載荷点から遠い受信子を用いた分散曲線ほどばらつきが見られる。これは載荷点からの距離が遠く、ハンマリングのエネルギー伝達量が小さいためと思われる。

図-3 を調べると、(b)実験値の方がばらつきが見られる。しかし、(a)理論値で最もよい分散曲線が描くことができた ch1～ch2 の加速度データを用いた場合において、(b)実験値のそれと比較すると図-4 のように大きな違いは見られない。図-4 の分散曲線から、経験的手法により容易に舗装の断面図を推定することができる。経験的手法とは、高周波の波は舗装の浅部しか波が伝播しない、低周波の波は深部に伝播するという性質を利用している。つまり、分散曲線の屈折点（波長）に層境界面が存在するという手法である。表-2 に示すようにモデルの真値と比較して、深度の提案式は 0.2λ が有効である。

図-5(a)と 5(b)より、分散曲線の屈折点における波長は弾性係数による影響は少ない。これは、動的軸対称有限要素プログラムと FFT 法を用いた数値シミュレーションの有効性を示していると言える。

5. まとめ

- 1) 載荷荷重に理論値，実験値を用いた場合両方においてほぼ同様の分散曲線を描くことができた。
- 2) 弾性係数に誤差があり，より短幅の windows で加速度波形を解析できるウェーブレット変換が必要である。
- 3) 深度の提案式は 0.2λ が有効であった。さらに，実験値の加速度を用いた場合の分散曲線と比較する。

参考文献

1) 大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門，鹿島出版，1994。
2) 横田明之：表面波探査法におけるアスファルト舗装の構造評価，東京電機大学理工学研究科修士論文，2003。