

波動理論を用いた舗装の構造同定

東京電機大学 学生会員 ○横田 明之
 東京電機大学 フェロー会員 松井 邦人
 川田工業(株) 小澤 良明

1. はじめに

舗装の構造評価手法として、表面波スペクトル解析法 (Spectral Analysis of Surface Wave =SASW) が知られている。この試験法は、発振子で表面波を測定し、測定波形から波長と表面波の分散曲線を求めて、舗装の層特性を推定する構造評価法である。SASW 試験を理論からアプローチした研究は少なく、試験的根拠のみで試験が行なわれている感が否めない。そこで、本研究では、舗装構造を2層モデルの2次元弾性体だと仮定し、舗装構造内を伝播する位相速度を3つのソフトを使用して数値シミュレーションで求め、周波数と位相速度の関係を明らかにし、波動理論による SASW 試験法の信頼性を高めることを目的としている。

2. 弾性波動解析

本研究で使用した解析方法は大きく分けて2タイプに分類できる。1のタイプ(多層解析法)は、鉛直方向の変位を支配する超越関数をそのまま扱い、未知数である波数 k と位相速度 c を求める手法である。2のタイプ (KAUSEL・HOSSAIN 解法)は、超越関数に離散化や差分法を適応させて剛性マトリクスを作成し、固有値解析で波数 k^2 を求める解法である。表-1 には、本研究で使用した解析法の各特徴を記す。

3. 解析モデル・解析方法

舗装のように表層(1層)の剛性が路床(2層)よりも高い逆層構造で数値シミュレーションを行ない、多層解析法・KAUSEL の解法・HOSSAIN の解法の3手法で解析結果を検討する。また、KAUSEL・HOSSAIN 解法に半無限層を有する構造を解析させるために、図-1 に記すように、半無限層の取り扱いを工夫する必要がある。2層層目の層構造を同じ層特性を持つ2つの層に分け(計3

層構造)、2層目の区切り数(KAUSEL: 層厚, HOSSAIN : 積分間隔)を細かく取り、KAUSEL・HOSSAIN 解析用モデルを作成した。また、本数値シミュレーションは、2層の層弾性係数を固定し、表層の層弾性係数を変化した3つの層特性パターンで解析を行なうものとする。シミュレーションモデルの層弾性係数は、以下のように決定している。

- (1) 2層中の1つの層弾性係数を 100MPa に固定
- (2) もう1つの層弾性係数は、固定した 100MPa の層弾性係数に、 $10 \cdot 50 \cdot 100$ を乗じて求められる値を残りの層の層弾性係数として使用する。

また、各層の密度・ポアソン比・表層厚を図-2 に、層弾性係数と実体波速を表-2 にそれぞれ記した。

4. 結果

逆層構造解析において、低周波領域に2層の実体波(P波・S波)を示すモードが多数混在しており、レイリー波の存在を確認するのは難しい。しかし、層弾性係数比 $(50 \cdot 1) \cdot (100 \cdot 1)$ のグラフからは、比較的容易にレイリ

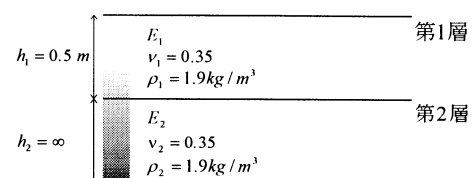
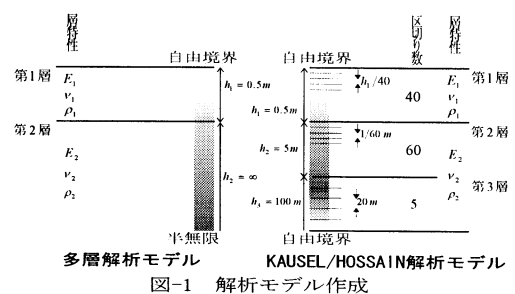


図-2 解析モデル

表-1 各解法の特徴

	鉛直方向の扱い	半無限層の扱い	虚数領域の解析	解の存在数
(1) 多層解析	超越関数	可能	可能	無限個
(2) KAUSELの解法	離散化	自由境界	可能	マトリクスの大きさ
(3) HOSSAINの解法	差分	自由境界	可能	マトリクスの大きさ

キーワード：波動、表面波スペクトル解析(SASW)、層弾性係数

連絡先：〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町大字石坂 TEL：0492(96)5731 内線(2734), FAX：0492(96)6501

表-2 層弾性係数と実体波速

	第1層			第2層		
	$E_1(\text{MPa})$	$V_{s1}(\text{m/s})$	$V_{p1}(\text{m/s})$	$E_2(\text{MPa})$	$V_{s2}(\text{m/s})$	$V_{p2}(\text{m/s})$
10・1	1000	437	910	100	138	288
50・1	5000	978	2035	100	138	288
100・1	10000	1382	2878	100	138	288

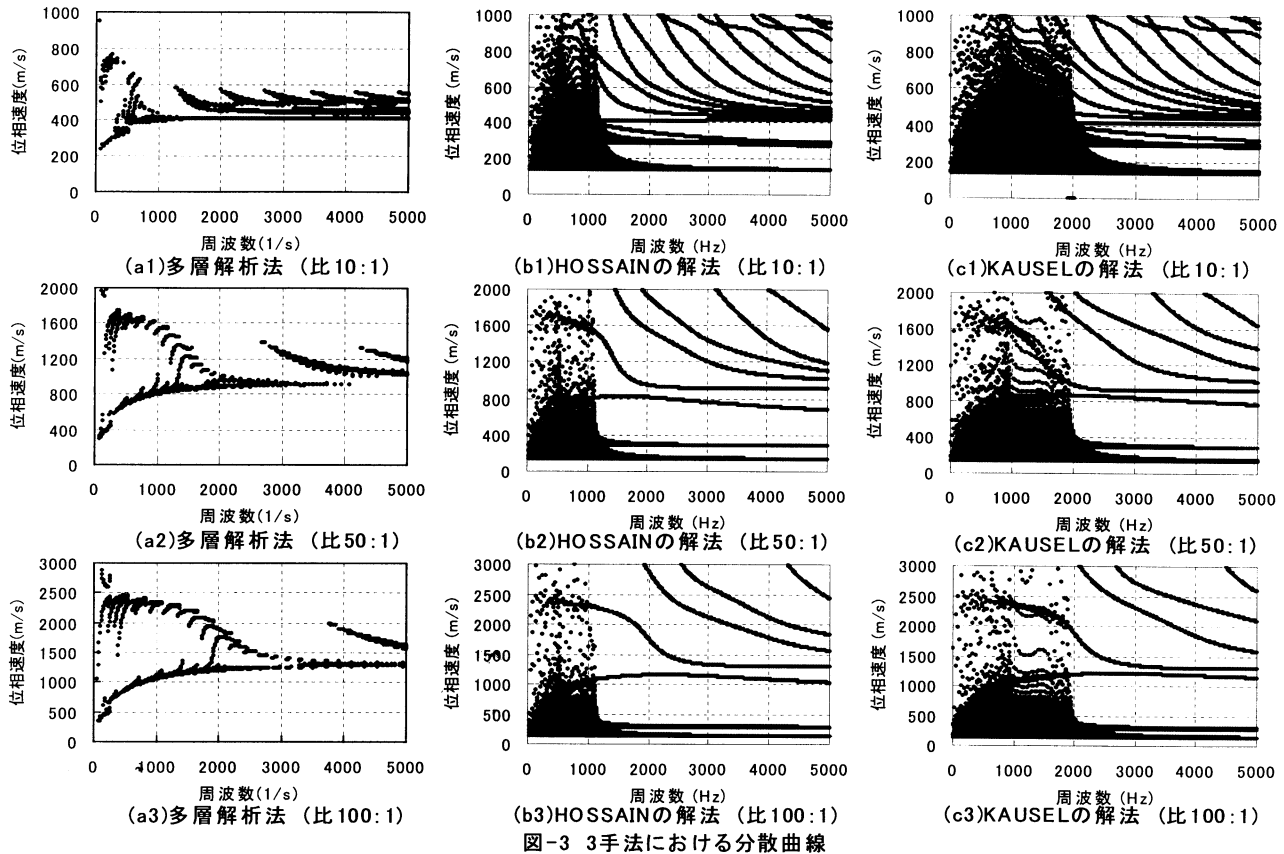


図-3 3手法における分散曲線

一波成分モードを確認することができる。これは、層弾性係数値が表層と2層とで大きく離れており、2層の実体波モードの影響が少ないからだと思われる。多層解法で求めた結果から判断すると、レイリー波は、2層のS波(横波)付近で派生し、周波数が高くなるにつれ、表層のレイリー波に収束していくモードと、S波付近で派生したレイリー波から別れて、表層のP波(縦波)より遅い速度にかけて分散するモードが確認できる。また、表層のレイリー波速に収束する周波数は、表層と2層の層弾性係数比が大きくなると共に高くなる。例として、層弾性係数比(50・1)では、周波数3000Hz付近でレイリー波速に収束しているが、層弾性係数比(50・1)より比率が大きい(100・1)のグラフでは、周波数4000Hz付近でレイリー波速に収束している。

5. まとめ

舗装のような表層(1層)の剛性が路床(2層)よりも高い逆層構造でSASW試験を行うとき、本研究から言えることをまとめる。

- (1) 低周波領域で測定される表面波は、R波と考えるより、2層の実体波の影響が強いと思われる。
- (2) 1層の層特性を測定するには高周波で行う必要があり、測定された表面波はR波である。

参考文献

- [1]岩崎敏男・嶋津晃臣:土と基礎の振動,鹿島出版会,1975
- [2]斎藤正徳・樺沢宏之:成層構造に対する反射率,表面波分散曲線の計算 II.レイリー波の計算,物理探査,第46巻,pp.283-298,1993
- [3]Kausel.BE・Roesset.J.M:STIFFNESS MATRICES FOR LAYERED SOILS ,Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.71, pp.1743-1761,1981
- [4]Hossain.M.M・Drnevich.V.P:NUMERICAL AND OPTIMIZATION TECHNIQUES APPLIED TO SURFACE WAVE FOR BACKCALCULATION OF LAYER MODULI, Nondestructive Testing of Pavements, pp.649-669,1989