

## 超音波法と共鳴振動法の併用によるアスファルト舗装体の動弾性係数の推定

Estimation of the Dynamic Modulus of Elasticity for Asphalt Pavement by Ultrasonic Method and Resonance Vibration Method

○尾崎 風香\*, 緒方 英彦\*\*, 兵頭 正浩\*\*, 坂本 康文\*\*\*, 五伝木 一\*\*\*  
OSAKI Fuka\*, OGATA Hidehiko\*\*, HYODO Masahiro\*\*, SAKAMOTO Yasufumi\*\*\* and GODENKI Hajime\*\*\*

### 1. はじめに

日本における農道の総延長距離は172,011kmに達し、その舗装率は36.2%である(2014年8月1日現在)<sup>1)</sup>。ここで、舗装済に該当するのは、アスファルトおよびコンクリートで舗装された農道であり、土砂系舗装は含まれない。これら舗装された道路は施工されたのち自然環境下に晒され、車輛の走行など様々な荷重を受けるうちに破損が生じるため、正確な性状評価と適切な補修による長寿命化を図ることが重要になる。現在、アスファルト舗装の性状評価には、非破壊試験としてFWD(Falling Weight Deflectometer)によるたわみ量測定や破壊試験としてレジリエントモデュラス試験<sup>2)</sup>がある。

本研究では、これらのアスファルト舗装の性状評価試験に加わる新たな非破壊試験として、コンクリートを対象に開発が進められている超音波法と共鳴振動法の併用による動弾性係数推定方法<sup>3)</sup>をアスファルトに適用し、その有用性について検討した。

### 2. 供試体および動弾性係数の評価方法の概要

本研究で用いた供試体は、JIS A 1127:2010(共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数、動せん断弾性係数及び動ポアソン比試験方法)に準拠した寸法の円柱供試体(直径10cm、長さ20cm)、実際の舗装面での試験を想定した平板供試体(30×30×10cm)である。供試体の配合は、密粒度アスファルト混合物(以下、密粒)と、ポーラスアスファルト混合物(以下、ポーラス)である。試験温度は、レジリエントモデュラス試験(以下、レジモジ試験)にもとづき5°C、15°C、25°C、40°Cで行った(15°Cは平板供試体

のみ)。供試体は各温度に制御した恒温恒湿機内に24時間静置した上で試験に供した。

共鳴振動法による一次共鳴振動数の測定は、JIS A 1127における縦振動の測定方法にもとづいて行った(Case 1)。また、振動発生機部と波形集録装置が完全に分離したオリジナル分離型の装置においても、小型起振機とピックアップ端子を対面に設置した対面法(Case 2)、小型起振機に隣接してピックアップ端子を設置した隣接法(Case 3)で一次共鳴振動数の測定を行った。共鳴振動法において一次共鳴振動数を決定する際には、超音波法で測定した超音波伝播速度より一次共鳴振動数の理論値を計算し参考値とした。超音波伝播速度は、発振子と受振子を対面に設置した透過法で測定したが、平板供試体では透過法に加え、実際の舗装面では端子の設置が表面の一面に限られることを考慮し、同一平面に両端子を設置した表面法でも測定を行った。

動弾性係数は式(1)で求め、レジモジ試験で測定されるレジリエントモデュラス(以下、レジモジ)と比較した。

$$E_D = 4.00 \times 10^{-3} \frac{L}{A} m f^2 \quad (1)$$

$E_D$ : 動弾性係数(N/mm<sup>2</sup>),  $L$ : 長さ(mm),  $A$ : 断面積(mm<sup>2</sup>),  $m$ : 質量(kg),  $f$ : 一次共鳴振動数(Hz)

### 3. 動弾性係数の評価結果および考察

#### 3.1 レジリエントモデュラス試験の結果

レジモジ試験は、供試体温度0°C、10°C、20°C、30°C、40°Cで実施し、測定値は図1、表1のとおり

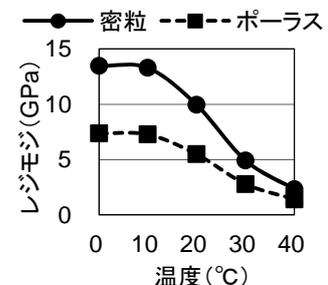


図-1 レジモジの結果

表-1 レジモジの結果と推定値

レジリエントモデュラス (MPa) (5, 15, 25°Cは推定値)								
	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	40°C
密粒	13,469	13,463	13,381	12,235	10,307	7,219	5,190	1,971
ポーラス	7,367	7,364	7,065	6,708	5,713	4,028	3,011	1,386

\*鹿島道路(株), Kajima Road Co. Ltd, \*\*鳥取大学農学部, Faculty of Agriculture, Tottori University, \*\*\*鹿島道路(株)技術研究所, Technical Research Institute, Kajima Road Co. Ltd, 農道, 動弾性係数, 超音波法, 共鳴振動法, レジリエントモデュラス試験

である。本研究における動弾性係数の推定では、供試体温度 5°C, 15°C, 25°Cの値も必要になることから、各温度のレジモジを近似式から推定することにした。近似式を式 (2), (3) に示し、各温度の推定値を表-2に示す。

$$E_D = 13.47 - 12.45 \times 0.00000068e^{-0.121t} \quad (2)$$

$$E_D = 7.37 - 6.65 \times 0.00000068e^{-0.121t} \quad (3)$$

$E_D$ : 動弾性係数 (MPa),  $t$ : 供試体温度 (°C)

### 3.2 円柱供試体

試験温度と一次共鳴振動数の関係を図-2に示し、試験温度別の動弾性係数の推定値を表-2に示す。

ここで、図中の一次共鳴振動数は、透過法において縦振動の理論式 ( $f = V/2L$ ) から求め、レジモジにおいて式 (1) から逆算して求めた。透過法による動弾性係数は式 (1) で求めた。

密粒とポーラスの両者とも、共鳴振動数は透過法よりも若干小さく、レジモジより大きくなり、供試体の温度が高くなるほど差は広がる傾向を示す。本研究で用いた円柱供試体 (直径:長さ=1:2) は、JIS A 1127 に準拠した寸法であるが、超音波法および共鳴振動法で直接的にレジモジを評価することは難しく、配合および供試体温度に応じた補正が必要になることが明らかになった。

### 3.3 平板供試体

試験温度と一次共鳴振動数の関係を図-3に示す。円柱供試体と同様に、レジモジ<共鳴振動法<超音波法の順になる傾向を示す。また、Case3 ではパワースペクトルに明確なピークが見られず、一次共鳴振動数を評価することができなかった。しかし、表面法による測定はレジモジの結果とある程度の相関が見られるため、表-3に示すように、レジモジから逆算した超音波伝播速度を利用した係数を考慮することで表面法から動弾性係数を評価できる可能性があることが明らかになった。

## 4. まとめ

- (1) 密粒度およびポーラスアスファルト混合物の任意の温度におけるレジリエントモデュラスの推定式を示した。
- (2) 円柱と平板、密粒とポーラスの組合せの全てにおいて、一次共鳴振動数はレジリエントモデュラス試験による理論値<共鳴振動法による実測値<超音波法による理論値となった。
- (3) 動弾性係数の推定値とレジリエントモデュラスの比は、アスファルトの温度依存性に影響し温

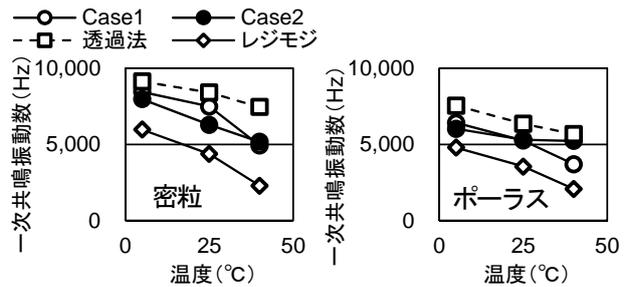


図-2 円柱の一次共鳴振動数

表-2 円柱の動弾性係数

	動弾性係数 (MPa)					
	密粒			ポーラス		
	5°C	25°C	40°C	5°C	25°C	40°C
Case1	26,927	21,148	9,175	13,224	8,846	4,423
Case2	24,000	14,998	10,115	11,641	9,058	8,909
透過法	29,157	19,688	10,153	16,707	9,433	4,941
レジモジ	13,464	7,219	1,971	7,364	4,029	1,386

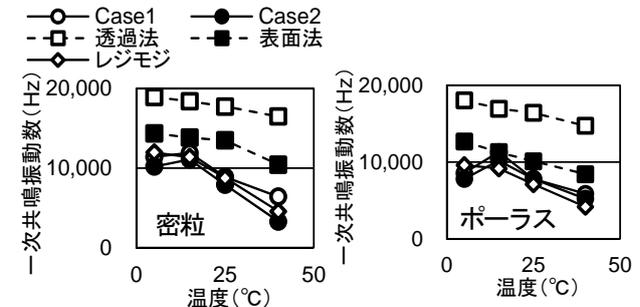


図-3 平板の一次共鳴振動数

表-3 超音波伝播速度の比

供試体温度	5°C	15°C	25°C	40°C
表面法の超音波伝播速度(km/s)	2.882	2.774	2.705	2.093
レジモジの超音波伝播速度(km/s)	2.379	2.268	1.742	0.910
表面法/レジモジ	0.82	0.82	0.64	0.43

度の上昇に伴い大きくなった。

- (4) レジリエントモデュラスの結果を踏まえた係数を考慮すれば、表面法による動弾性係数の推定ができる可能性がある。

## 引用文献

- 1) 農林水産省 (2014) : 農林水産統計平成 26 年度農道整備状況調査結果の概要, <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noudou/>
- 2) 日本道路協会 (2007) : 舗装調査・試験法便覧 [第 4 分冊], 日本道路協会, pp.140-148
- 3) 周藤将司, 緒方英彦, 兵頭正浩, 土居賢彦 (2015) : コンクリート水利構造物を対象にした現地非破壊試験による一次共鳴振動数の測定方法に関する研究, 農業農村工学会論文集 295, pp.69-75