

# 多層構造を有する舗装用混合物の 曲げ試験特性に関する2次元弾性解析

佐藤弘史<sup>1</sup>・秋葉正一<sup>2</sup>・栗谷川裕造<sup>3</sup>・秋山成興<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生会員 工修 日本大学大学院生産工学研究科(〒275-8575 習志野市泉町1-2-1)

<sup>2</sup>正会員 工博 日本大学専任講師 生産工学部土木工学科(〒275-8575 習志野市泉町1-2-1)

<sup>3</sup>正会員 工博 日本大学助教授 生産工学部土木工学科(〒275-8575 習志野市泉町1-2-1)

<sup>4</sup>正会員 工博 日本大学教授 生産工学部土木工学科(〒275-8575 習志野市泉町1-2-1)

本研究は、表層、基層の両層や鋼床版上の舗装用混合物の材料評価、あるいは補強層を有する舗装用混合物の材料評価などを想定し、いくつかの舗装材料で層状に構成された曲げ試験用混合物供試体の弾性的な応力および変形について、2次元弾性解析を行った。次にこの結果を用い、供試体を構成する各層の層厚や材質、あるいは各層境界面の接着状態の差が変形特性に与える影響について数値計算により調べた。その結果、多層構造を有する舗装用混合物の材料評価や材料定数を推定する上で必要となる変形特性に関する基礎情報が得られた。

**Key Words:** *bending test, mechanical properties, layer, two dimensional elastic analysis, surface displacement*

## 1. まえがき

舗装材料の室内試験の一つとして用いられる曲げ試験は、舗装用混合物の曲げ強度を求めるほかに、矩形の断面の供試体に繰返し載荷を行い材料定数の推定や疲労特性の評価などに広く用いられている<sup>1)~3)</sup>。一般に、供試体は表層あるいは基層に用いられる混合物単体であるが、鋼床版上の舗装用混合物の評価を目的として舗装用混合物と鋼床版の2層構成としたものや、鋼床版上に基層と表層を設けた3層構成で曲げ試験が行われた例もある<sup>4), 5)</sup>。さらに、リフレクションクラック抑止などを目的に表層と基層の間にシート(本論文では以下補強層と称する)を挿入した3層構成の供試体を用いた試験も行われている<sup>6)~9)</sup>。このように曲げ試験の供試体は1層構造のみならず、いくつかの層構造を有するものを用いて室内評価が行われており、この層状の供試体の試験は前述した目的以外でも行われている。

曲げ強度や疲労評価を行う場合には、通常初等理論による水平方向の応力( $\sigma$ )やひずみ( $\varepsilon$ )式が必要となるが<sup>2), 3)</sup>、供試体寸法やひずみの測定方法が原因となり、この理論式が適用不可能となる場合が生

じる。特に材料定数の推定においては、ひずみが必要となるため、剛性が低い場合の舗装用混合物に接着したひずみゲージの接着性に問題があれば、これが推定結果に影響を及ぼす。

この問題について、著者らは初等曲げ理論(平面保持の仮定)の適用が不可能な供試体形状を有する舗装用混合物について2次元弾性解析を行い、応力や変形特性に与える影響を調べた<sup>9)</sup>。また、ひずみの推定に関わる問題については実測変位を用いることとし、これと解析変位から材料定数を推定する手法を報告してきた<sup>10), 11)</sup>。しかし、前述した多層構造の解析を行う場合、この厳密解を用いて行うことは可能であるが、この解析の実施には計算時間が非常にかかることとなり、計算プログラムを曲げ評価に利用するには実用的とはいえない。

そこで、本研究では、曲げ試験に用いる舗装用混合物供試体が多層構造を有する場合を想定し、有限帯板法<sup>12)</sup>を応用した2次元弾性解析を行った。有限帯板法では、未知変位が各分割接線の変位成分となるため、有限要素法に比べ未知変位を少なくでき、また数値計算に際しては、要素の分割は帯板の数を設定するだけで計算できる利点がある<sup>12)</sup>。なお、本

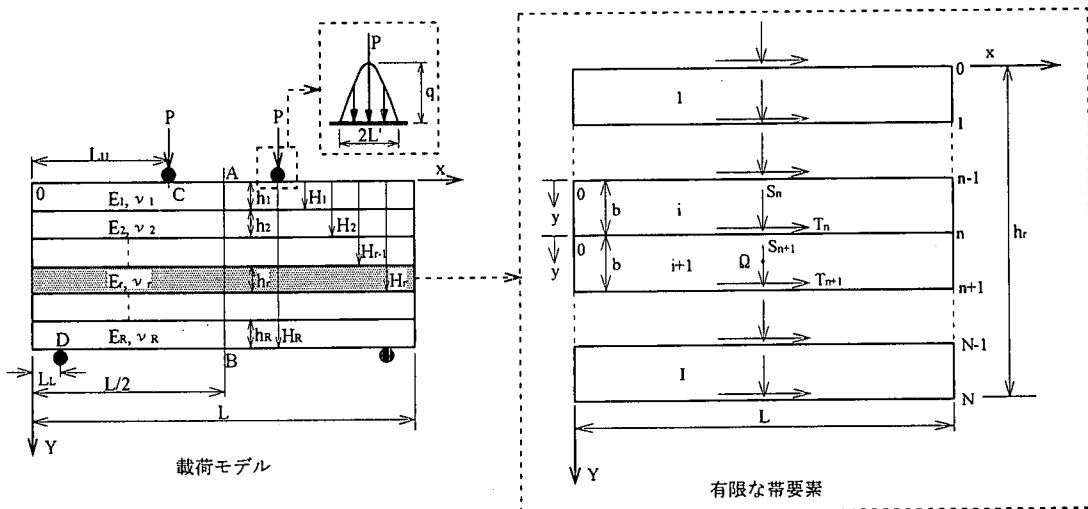


図-1 載荷モデルおよび帯要素

研究において適用した有限帯板法は、以下の点で一般的な有限帯板法と異なっている。一般的に有限帯板法は、3次元平板の解析に適用されており、板の曲げ理論に基づき板のたわみ公式から面外力と面内力の解析を行っているが、本研究では、これを図-1に示すような2次元平面に適用することにより、面外力は無視できるとし、面内力について、全ポテンシャルエネルギーの最小原理を用いることにより<sup>13)</sup>有限な帯要素の接線力に関する剛性方程式を求めている。

つぎにこの結果を用い、多層構造を有する舗装用混合物の材料評価や材料定数の推定に必要な変形特性について、表層および基層の材料定数や厚さの違い、および上下層の層境界面の接着状態の違いが変形特性に与える影響について数値計算により調べた。また、供試体下面にスチール板を重ねた構造を想定し、スチール板の材料定数や厚さの違い、あるいはスチール板と供試体の接着状態の違いが変形特性に与える影響についても調べた。なお、この方法は、鋼床版舗装や低スチフネス状態の曲げ評価<sup>14), 15)</sup>への適用も可能と考えられる。さらに、表層と基層の間にシート状の補強層を有する場合の補強層の材料定数や厚さの違いが変形特性に与える影響についても調べた。

## 2. 2次元弾性解析

### (1) 応力および変位成分の式

図-1に示す帯要素において、x方向およびy方向の変位をuおよびvとし、帯要素i+1における変

位  $u_{i+1}$ ,  $v_{i+1}$  を次式のように仮定する。

$$u_{i+1} = (1-\eta)u_n + \eta u_{n+1}, \quad v_{i+1} = (1-\eta)v_n + \eta v_{n+1} \quad (1)$$

ここで、 $\eta = y/b$

また、接線nにおける変位は境界未知数を  $U_m$ ,  $V_m$  として、次式に示すフーリエ級数で表すことができる。

$$\begin{aligned} u_n &= \sum_m U_m \cos Mx \\ v_n &= \sum_m V_m \sin Mx \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $M = m\pi/L$ ,  $m=1, 2, 3, \dots$  である。

一方、2次元平面座標におけるx方向、y方向の垂直応力をそれぞれ  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ 、せん断応力を  $\tau_{xy}$  とすると、フック則を考慮すれば次式で表せる。

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{E}{1-\nu^2} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \nu \frac{\partial v}{\partial y} \right) \\ \sigma_y &= \frac{E}{1-\nu^2} \left( \nu \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \\ \tau_{xy} &= \frac{E}{2(1+\nu)} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

応力および変位の一般式は、まずu, vについては式(2)を式(1)に、 $\sigma_x$ については式(1)を式(3)に代入すれば式(4)~(6)のとおりとなる。

$$u_{i+1} = \sum_m \{ (1-\eta)U_{m+i+1n} + \eta U_{m+i+1n+1} \} \cos Mx \quad (4)$$

$$v_{i+1} = \sum_m \{ (1-\eta)V_{m+i+1n} + \eta V_{m+i+1n+1} \} \sin Mx \quad (5)$$

$$\sigma_{x+i+1} = \frac{E}{1-\nu^2} \sum_m \sin Mx \left[ -M \{ (1-\eta)U_{m+i+1n} + \eta U_{m+i+1n+1} \} + \frac{\nu}{6} (V_{m+i+1n+1} - V_{m+i+1n}) \right] \quad (6)$$

一方、帯要素平面内のポテンシャルエネルギー  $\Omega$  は次式で表される。

$$\Omega = \frac{1}{2} (\sigma_x \epsilon_x + \sigma_y \epsilon_y + \tau_{xy} \gamma_{xy}) \quad (7)$$

これに、式(1)~(3)を代入し、x, y 方向についてそれぞれ  $0 \sim L$ ,  $0 \sim b$  の範囲で積分したものを  $\bar{\Omega}$  とすれば、最小仕事の原理より接線における剛性方程式は次式で表せる。

ここで、 $i+1$ 層目の帯要素の上下の接線  $n, n+1$  における垂直力を  $S_{m+i+1n}$ ,  $S_{m+i+1n+1}$ 、せん断力を  $T_{m+i+1n}$ ,  $T_{m+i+1n+1}$  とする。

$$\begin{aligned} S_{m+i+1n} &= \frac{\partial \bar{\Omega}}{\partial V_{m+i+1n}} \\ S_{m+i+1n+1} &= \frac{\partial \bar{\Omega}}{\partial V_{m+i+1n+1}} \\ T_{m+i+1n} &= \frac{\partial \bar{\Omega}}{\partial U_{m+i+1n}} \\ T_{m+i+1n+1} &= \frac{\partial \bar{\Omega}}{\partial U_{m+i+1n+1}} \end{aligned} \quad (8)$$

したがって、 $\sigma_y$  および  $\tau_{xy}$  は、垂直力  $S$  およびせん断力  $T$  をフーリエ変換すれば次式のとおりとなる。

$$\sigma_{y+i+1} = \frac{2}{L} \sum_m \sin Mx \{ (1-\eta)S_{m+i+1n} + \eta S_{m+i+1n+1} \} \quad (9)$$

$$\tau_{xy+i+1} = \frac{2}{L} \left[ \{ (1-\eta)T_{0+i+1n} + \eta T_{0+i+1n+1} \} + \sum_m \cos Mx \{ (1-\eta)T_{m+i+1n} + \eta T_{m+i+1n+1} \} \right] \quad (10)$$

## (2) 境界条件

いま、 $R$  層の層構造を有するはりの載荷モデルを図-1の様に仮定する。なお、各層は図-1に示す任意の分割数  $I$  の帯要素に分割されているものとする。載荷モデルに対する境界条件は式(11)~式(16)に示すとおりである。ここで、第  $r$  層中の  $n$  番目の帯要素における  $\sigma_y$ ,  $\tau_{xy}$  を  $\sigma_{y_n}^r$ ,  $\tau_{xy_n}^r$  と表す。

$$\text{まず、} Y=0 \text{ のとき} \\ \sigma_{y1}^r \Big|_{\eta=0} = P_u(x), \quad \tau_{xy1}^r \Big|_{\eta=0} = 0 \quad (11)$$

つぎに、 $Y=H_r$  のときについて各層間の境界条件は、完全に密着している場合 (CASE I)、層境界面に摩擦が存在しない場合 (CASE II)、および任意の摩擦力が作用する場合 (CASE III) が考えられる。そこで、

$$\text{CASE I の場合は} \\ \sigma_{y1}^r \Big|_{\eta=1} + \sigma_{y1}^{r+1} \Big|_{\eta=0} = 0, \quad \tau_{xy1}^r \Big|_{\eta=1} + \tau_{xy1}^{r+1} \Big|_{\eta=0} = 0 \quad (12)$$

$$\text{CASE II の場合は} \\ \sigma_{y1}^r \Big|_{\eta=1} + \sigma_{y1}^{r+1} \Big|_{\eta=0} = 0 \\ \tau_{xy1}^r \Big|_{\eta=1} = 0, \quad \tau_{xy1}^{r+1} \Big|_{\eta=0} = 0 \quad (13)$$

$$\text{CASE III の場合は} \\ \sigma_{y1}^r \Big|_{\eta=1} + \sigma_{y1}^{r+1} \Big|_{\eta=0} = 0, \quad \tau_{xy1}^r \Big|_{\eta=1} + \tau_{xy1}^{r+1} \Big|_{\eta=0} = 0 \\ \tau_{xy1}^r \Big|_{\eta=1} = k \{ u_1^r \Big|_{\eta=1} - u_1^{r+1} \Big|_{\eta=0} \} \quad (14)$$

式(14)の第3式について、摩擦が生じた場合、摩擦抵抗力によって上層下面の引張り力と下層上面の圧縮力との差が層境界面に作用する。この引張り力および圧縮力は、それぞれの水平変位と比例すると仮定した場合、両者の差が層境界面に作用するせん断応力となる。このように層境界面の摩擦の程度をモデル化したものである。ここで、 $k$  は単位長さあたりの力の次元をもつ定数であり、本論文においては摩擦抵抗係数と称する。なお、 $k=0$  であれば  $\tau_{xy}=0$  で CASE II に対応し、 $k=\infty$  であれば上下層の水平変位は等しくなるので CASE I に対応する。

$$\text{つぎに } Y=H_r \text{ のとき} \\ \sigma_{y1}^R \Big|_{\eta=1} = P_l(x), \quad \tau_{xy1}^R \Big|_{\eta=1} = 0 \quad (15)$$

また、各層の帯要素間は完全に密着していることから、 $r$  層内の境界条件は

$$Y=H_{r-1}+i \cdot b \text{ のとき} \\ \sigma_{y1}^r \Big|_{\eta=1} + \sigma_{y1}^{r+1} \Big|_{\eta=0} = 0, \quad \tau_{xy1}^r \Big|_{\eta=1} + \tau_{xy1}^{r+1} \Big|_{\eta=0} = 0 \quad (16)$$

である。

ここで、式(11)第1式における  $P_u(x)$  は載荷点、式(15)における  $P_l(x)$  は支点にそれぞれ作用する荷重強度分布であり、載荷点および支点を図-1に示すような丸鋼と仮定し、荷重分布幅  $2L$  を有する放物線荷重とすればこれらは次式で示される。

$$P_u(x) = \frac{2}{L} \sum_m \frac{3P(1-(-1)^m)}{(ML')^2} \left\{ \frac{\sin ML'}{ML'} - \cos ML' \right\} \sin ML_0 \sin Mx \quad (17)$$

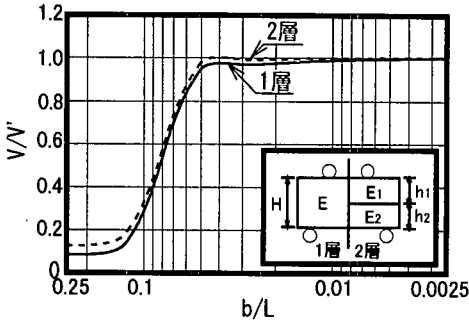


図-2 帯要素分割幅と収束状況 (v)

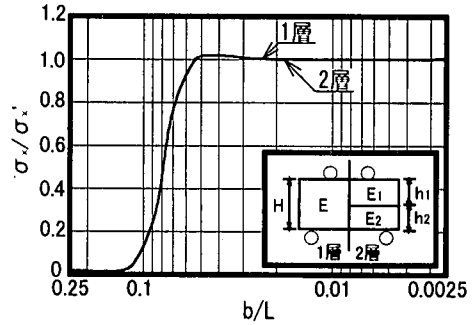


図-3 帯要素分割幅と収束状況 (sigma\_x)

$$P_i(x) = \frac{2}{L} \sum_m \frac{3P(1-(-1)^m)}{(ML')^2} \left\{ \frac{\sin ML'}{ML'} - \cos ML' \right\} \sin ML' \sin Mx \quad (18)$$

なお、数値計算にあたりフーリエ級数の項数  $m$  は300項とした。

### (3) 有限フーリエ定和分変換<sup>16)~18)</sup>

境界未知数を求めるためには、本章(2)の境界条件による連立方程式を解く必要があるが、これでは計算しなければならないマトリックスが非常に大きくなる。たとえば、図-1に示す荷重モデルが1層構造とした場合を例にすると、境界未知数  $U$  および  $V$  は分割した各帯要素の境界についてそれぞれ存在することから、 $I$  の帯要素に分割すれば、求める境界未知数は  $2(I+1)$  個となる。これらの未知数について、供試体上下境界面では式(11)および(15)の4式を適用し、帯要素境界面においては式(16)を  $2(I-1)$  式適用することで、この場合  $2(I+1)$  行  $\times$   $2(I+1)$  列のマトリックス計算を行う必要がある。これを級数  $m$  について計算を行わなければならない。さらに、 $R$  層構造となるとマトリックスは  $2R(I+1)$  行  $\times$   $2R(I+1)$  列となり、一般的なパーソナルコンピュータを用いて計算を行うには、計算時間が非常に長くなり実用性に問題が生じる。

ここで、図-1に示す帯要素において、帯要素はすべて同じ形状で規則正しく配置されており、同じ形式が繰り返される構成と仮定できる。そこで、本研究では、付録に示す有限フーリエ定和分変換(以下分変換)<sup>16)~18)</sup>を適用することとした。これによれば、各帯要素間の境界未知数を級数で表すことができ、連立方程式により求める境界未知数は、各層の層境界面を挟む帯要素に生ずるものに限られる。これより、1層構造の場合は8行  $\times$  8列のマトリックス計算のみ行えばよく、また  $R$  層の場合でも  $8R$

行  $\times$   $8R$  列のマトリックス計算ですみ、境界未知数を求めるための連立方程式が縮小され計算時間を短縮できる。したがって、帯要素数が非常に多い場合でも計算時間は問題とならない。

本研究において計算に用いたパーソナルコンピュータ (CPU: Pentium III 450MHz, プログラム言語 TurboC++) では、和分変換を適用しない場合計算時間はモデルを3層構造とした場合で約5分前後であるが、和分変換を適用した場合は数秒である。

### 3. 計算精度の検討

計算精度の検討は、本解析による解析結果と著者が既に公表している1層解析における厳密解<sup>9)</sup>(以下厳密解)を比較して行った。

図-2, 3は、上層上面のスパン中央部における  $v$  および  $\sigma_x$  について、帯要素の分割幅と収束の状況を調べたものである。なお計算は、層構造をもつ供試体について、厚さを一定 ( $H/L=0.25$ ) にし分割する帯要素の厚さを変化させて行った。したがって、この図において横軸は  $b/L$  が小さいものほど帯要素の分割数が多いことを示している。結果は本解析による1層構造の計算結果 ( $v, \sigma$ ) を厳密解 ( $v', \sigma'$ ) で除した比で表した。また、供試体が2層構造を有する場合の上層における帯要素の分割幅と収束の状況についても、下層の帯要素の分割幅を一定 ( $h/L=0.005, b/L=0.00025$ ) とし、上層の帯要素の分割幅を変化させて調べた。なお、上下層の  $E$  は等しいとして計算を行った。この結果より、1層構造の場合、 $\sigma_x/\sigma_x'$  は、 $b/L=0.02$  程度で収束している。一方、 $v/v'$  はほぼ  $b/L=0.005$  程度で収束する結果となった。また、2層構造とした場合の  $v/v'$  および  $\sigma_x/\sigma_x'$  の収束性は1層構造と同様の傾向となった。これより、以下の数値計算例では、1層の分割幅は、 $b/L=0.005$  以下となるよう設定した。

次に、表-1, 2は、上層上面および上層下面の

表-1 計算精度の検討 (v)

v/v'		h <sub>1</sub> /L	h <sub>2</sub> /L			
			0.0025	0.005	0.0075	0.01
近似解	上面	0.10	1.00046	1.00355	1.00906	1.01662
		0.15	0.99694	0.99442	0.99342	0.99386
		0.20	0.99247	0.98416	0.97749	0.97217
		0.25	0.98701	0.97210	0.95951	0.94923
	下面	0.10	1.00044	1.00349	1.00894	1.01641
		0.15	0.99693	0.99438	0.99333	0.99370
		0.20	0.99247	0.98411	0.97743	0.97206
		0.25	0.98696	0.97195	0.95935	0.94901
		0.25	0.98696	0.97195	0.95935	0.94901
本解析	上面	0.10	0.99993	0.99995	0.99995	0.99995
		0.15	0.99975	0.99985	0.99986	0.99988
		0.20	0.99925	0.99962	0.99972	0.99976
		0.25	0.99837	0.99923	0.99954	0.99960
	下面	0.10	0.99993	0.99995	0.99995	0.99996
		0.15	0.99975	0.99985	0.99987	0.99988
		0.20	0.99929	0.99958	0.99972	0.99976
		0.25	0.99836	0.99916	0.99947	0.99960
		0.25	0.99836	0.99916	0.99947	0.99960

表-2 計算精度の検討 (σ<sub>x</sub>)

σ <sub>x</sub> /σ <sub>x</sub> '		h <sub>1</sub> /L	h <sub>2</sub> /L			
			0.0025	0.005	0.0075	0.01
近似解	上面	0.10	1.00115	1.00427	1.00893	1.01481
		0.15	1.00056	1.00213	1.00456	1.00771
		0.20	1.00037	1.00137	1.00294	1.00504
		0.25	1.00029	1.00104	1.00221	1.00377
	下面	0.10	1.00247	1.00900	1.01938	1.03324
		0.15	1.00129	1.00412	1.00896	1.01561
		0.20	1.00103	1.00250	1.00539	1.00945
		0.25	1.00106	1.00181	1.00378	1.00663
		0.25	1.00106	1.00181	1.00378	1.00663
本解析	上面	0.10	1.00145	1.00138	1.00132	1.00125
		0.15	1.00039	1.00031	1.00022	1.00014
		0.20	0.99850	0.99838	0.99826	0.99814
		0.25	0.99560	0.99544	0.99527	0.99510
	下面	0.10	1.00198	1.00205	1.00212	1.00219
		0.15	1.00200	1.00206	1.00211	1.00216
		0.20	1.00208	1.00212	1.00214	1.00216
		0.25	1.00218	1.00218	1.00217	1.00217
		0.25	1.00218	1.00218	1.00217	1.00217

スパン中央部における v および σ<sub>x</sub> について、2層構造の上層および下層の厚さが異なる場合の計算精度を比較した結果である。結果は本解析による結果 (v, σ) を1層解析による厳密解 (v', σ') で除した比で表した。ここで、表中の h<sub>1</sub> および h<sub>2</sub> は、上層および下層の厚さを示している。なお、比較のために著者らが既に公表している2層解析の近似解(以下近似解)の結果<sup>15)</sup>も示した。これより、厳密解に対し、近似解による結果は最大5%程度の誤差を生じているが、本解析の解析誤差はσ<sub>x</sub>が0.5%以下であり、vにはその差異は認めらず、非常に高い計算精度を示している。なお、2層解析の近似解では下層を初等理論を用いて解析を行っているため、適用範囲は下層厚が薄い場合に限定され<sup>15)</sup>、下層厚が厚い場合には誤差が大きくなる結果となっている。しかし、本解析では下層の厚さに関わらず、高い計算精度となっていることから、下層が薄い場合だけでなく、上下層が舗装用混合物で構成されている場合など、任意の厚さを有する供試体形状への適用も可能である。

#### 4. 数値計算例

本章では、図-4に示す層構造の異なる3つのModelを想定して、各層の弾性係数や厚さの違いが、ひずみおよび表面たわみに与える影響について数値計算を実施して調べた。まず、Model Iは、舗装用混合物供試体が、例えば表層・基層の2層構造を有する場合、つぎにModel IIは2層構造の下面にスチール板を重ねた3層構造とした場合のモデルである。さらに、Model IIIは曲げ試験に用いる供試体がいくつかの層構造をもつ場合に、近年適用が検討されているシート状の補強層<sup>6)~8)</sup>を上下層の層間に挿入した場合である。これらのModelについて、各

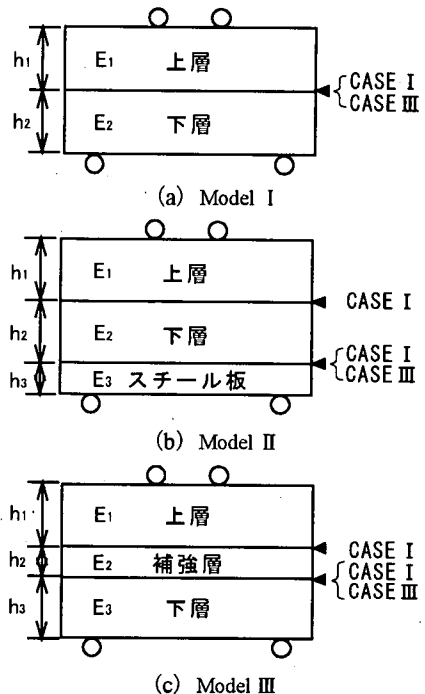


図-4 計算モデル

層の弾性係数や層厚あるいは層間の摩擦、さらに補強層の挿入が、ひずみおよび表面たわみに与える影響について調べた。

また、各層間の接着状態については2章(2)に示したような、層間が完全に密着している状態(CASE I)、摩擦が存在しない状態(CASE II)、任意の摩擦力が働く場合(CASE III)が考えられる。ただし、通常のアスファルト舗装を鑑みれば、表層と基層の層間、舗装用混合物層と鋼床版はCASE IあるいはCASE IIIの状態と考えるのが妥当であり、CASE IIの状態は現実的ではない。そこで、数値計算にあたっては、層間の接着状態はCASE IとCASE III

表-3 上層上面および下層下面のひずみ (Model I)

$\varepsilon / \varepsilon_0$	$E_2/E_1$			
	0.1	0.2	0.5	1.0
上層上面	1.03813	1.01835	0.96033	0.90838
下層下面	0.96237	0.99829	1.03852	1.06293

表-4 上層上面および下層下面のひずみ (Model II)

$\varepsilon / \varepsilon_0$	$E_2/E_1$			
	0.1	0.2	0.5	1.0
上層上面	1.70504	1.27981	0.96313	0.83933
下層下面	0.46189	0.70804	0.89533	0.97057

について計算を行った。

なお、舗装用混合物層が1層構造の場合の計算例は、著者らが既に公表<sup>9),15)</sup>しているので、本論文では、舗装用混合物層が2層以上で構成されている場合の数値計算例を示す。

### (1) ひずみ

多層構造を有する舗装用混合物供試体を用いた曲げ試験において、上層、下層に異なる性質の材料を用いた2層構造や、1層構造あるいは2層構造にスチール板を重ねた構造とした供試体を用いた曲げ評価が行われた例があるが、いずれも供試体上層上面中央部あるいは下層下面中央部に貼付したひずみゲージによる実測ひずみを用いて舗装用混合物の評価が行われている<sup>9),11),14)</sup>。そこで、供試体の上層上面中央部および下層下面中央部のひずみをひずみゲージを用いて測定する場合に、上下層の弾性係数の違いがひずみに与える影響について調べた。なお、結果は、本解析により得られたひずみ  $\varepsilon$  を次式<sup>20),21)</sup>に示す初等理論による2層および3層構造のひずみ  $\varepsilon_0$  で除した比で表した。

$$\varepsilon_0 = \frac{\sigma_i}{E_i} \quad \varepsilon = \frac{1}{E_i} (\sigma_x - \nu \sigma_y)$$

$$\sigma_i = \frac{M E_i y_i}{\sum_{i=1}^n (E_i I_i)} \quad y_N = \frac{\sum_{i=1}^n E_i (S_i) \lambda}{\sum_{i=1}^n E_i A_i}$$

ここで、 $y_i = y_N - y_L$

$y_N$ : 断面下縁と中立軸の距離

$y_L$ : 断面  $A_i$  までの距離

$(S_i)$ : 断面  $A_i$  の下縁に関する断面1次モーメント

表-3は、2層構造 (Model I) の上層の弾性係

数  $E_1$  を一定とし、下層の弾性係数  $E_2$  を変化させた場合のひずみを調べた結果である。なお、上下層の厚さは一定 ( $h_1/L = h_2/L = 0.125$ ) である。この結果より、 $E_2/E_1$  に関わらず本解析により得られたひずみは、初等理論のひずみに比較して最大で約10%程度の差異を生じている。また、表-4は、スチール板を重ねた3層構造 (Model II) のひずみについて同様に調べた結果である。なお、上下層の厚さ、スチール板の厚さおよび上層とスチール板の弾性係数比は一定 ( $h_1/L = h_2/L = 0.125$ ,  $h_3/L = 0.005$ ,  $E_3/E_1 = 100$ ) である。この結果より、3層構造の場合は、2層構造の場合より初等理論によるひずみと本解析により得られたひずみの差異はより顕著に発現しており、初等理論のひずみに対して最大で約70%以上の差異を生じている。これらの結果より、多層構造を有する供試体を用いた舗装用混合物の評価にあたっては、初等理論によるひずみの適用には問題があると考えられ、供試体の上面あるいは下面に貼付したひずみゲージにより実測することが望ましいといえる。ただし、ひずみゲージによるひずみの測定に際しては、舗装用混合物が高スチフネス状態ではさほど問題はないと考えられるが、低スチフネス状態では、繰返し載荷によるひずみゲージのはく離の問題や変形が大きくなるためにひずみゲージが供試体の変形に追従できないといった問題<sup>10),19)</sup>が考えられる。したがって、変位の測定値を用いてひずみを推定することも必要と考えられる。ただし、著者らが指摘しているように供試体形状によっては初等理論による公式の適用は不可能となる<sup>9)</sup>ことから、応力および変位の弾性解析を行い、この結果を用いて舗装用混合物の評価を行う必要がある。

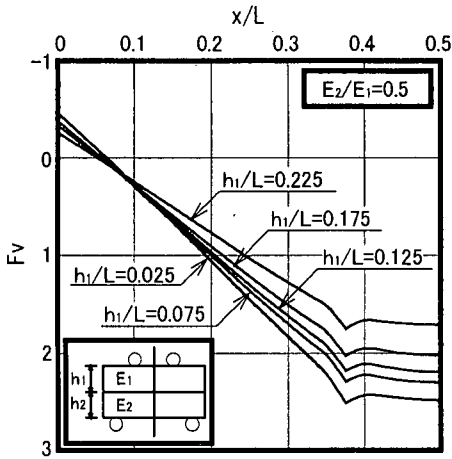
なお、変位からひずみを推定するにあたっては、供試体を構成する各層の材料定数、特に弾性係数が必要となるが、これは、著者らが提案している方法<sup>10),11)</sup>を応用することにより変位の測定値から材料定数の推定が可能であると考えられる。そこで、次に変位の測定結果から多層構造を有する舗装用混合物の材料評価や材料定数の推定を行うのに必要な変形特性に与える影響について以下に述べる。

### (2) 表面たわみ

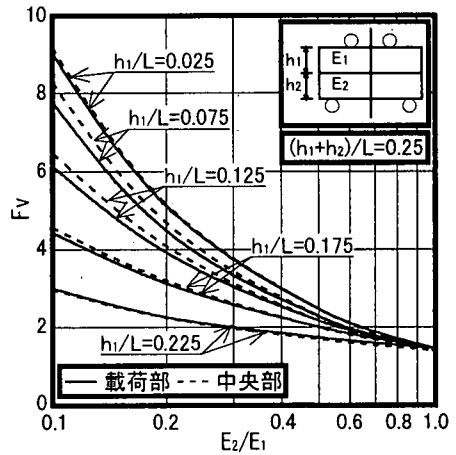
#### a) Model I および Model II

舗装用混合物供試体が多層構造を有する場合に各層の弾性係数および厚さの違い、層間の接着状態の違いが表面たわみに与える影響を調べた。ここで、上層と下層の弾性係数比および上層とスチール板の弾性係数比は、なるべく文献<sup>22)~24)</sup>を参考に設定した。

なお、結果は次式に示すとおりに解析変位  $v$  を初

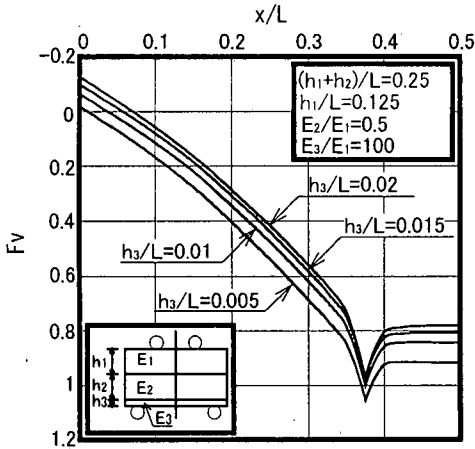


(a) 表面たわみ分布 (CASE I)

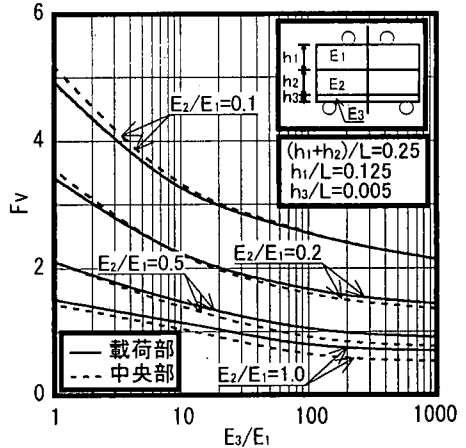


(b) 中央部および載荷部の Fv (CASE I)

図-5 表面たわみ (Model I)



(a) 表面たわみ分布 (CASE I)



(b) 中央部および載荷部の Fv (CASE I)

図-6 表面たわみ (Model II)

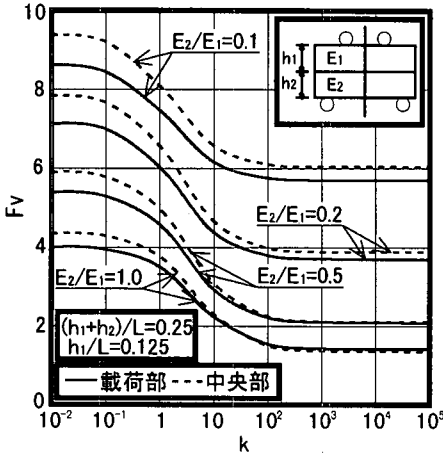
等理論による 1 層構造のスパン中央部の変位で除した比  $F_v$  で示した。ここで、 $F_v$  は無次元化された変位に関する係数であり、例えば、これは、形状や性状の異なる曲げ供試体と考えた場合、載荷荷重が同じであれば、たわみが小さい方が大きいものに対して相対的に強度が高いことを意味する。

$$F_v = \frac{2Eh^3}{P(L_u - L_L)\{3(L - 2L_L)^2 - 4(L_u - L_L)^2\}} \cdot v$$

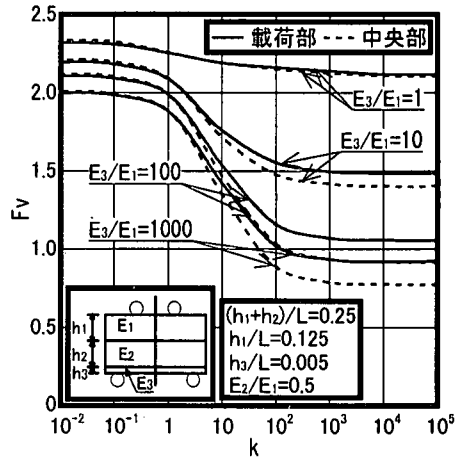
ここで、上式中の  $E$  は上層の  $E_1$  とし、 $h$  は供試体全体の厚さ  $H$  として計算を行った。また、上層の弾性係数  $E_1$  および載荷荷重  $P$  はすべての計算例について同一の条件として計算を行った。

図-5 は、上下層の厚さや弾性係数比の違いが  $F_v$  に与える影響を調べるために Model I の上層上面における  $F_v$  を調べた結果である。(a) 図は、上下層の弾性係数比を一定 ( $E_2/E_1 = 0.5$ ) として  $h_1/L$  を変化させた場合の表面たわみ分布である。また、(b) 図は、上層上面の荷重載荷部およびスパン中央部の  $F_v$  について、上下層の弾性係数および厚さの違いが  $F_v$  に与える影響を調べた結果である。なお、両図とも全体の厚さは一定 ( $(h_1+h_2)/L = 0.25$ ) である。

これらの結果より、 $E_2/E_1$  および  $h_1/L$  が増加するのにしたがって  $F_v$  は減少する結果となっている。ただし、上下層の弾性係数が等しい場合 ( $E_2/E_1 = 1.0$ ) には  $F_v$  は、 $h_1/L$  に影響されず一定であるが、上下



(a) Model I (CASE III)



(b) Model II (CASE III)

図-7 k が Fv に与える影響

層の弾性係数が異なる場合には、 $E_2/E_1$ が小さいほど  $F_v$  は  $h_1/L$  に大きく影響を受ける結果となっている。また、 $E_2/E_1$ の違いが  $F_v$  に与える影響について、例えば (b) 図において上下層の厚さが等しい  $h_1/L=0.125$  の場合の  $E_2/E_1=0.1$  と  $E_2/E_1=1.0$  の  $F_v$  を比較すると、 $E_2/E_1=0.1$  の  $F_v$  は  $E_2/E_1=1.0$  に比較して約3倍となっており、上層の弾性係数に比べ下層の弾性係数が小さい場合ほど  $F_v$  は大きくなる。これは、上層と下層の弾性係数が異なる場合の材料評価を行う場合に、 $E_2/E_1=1.0$ つまり上下層の弾性係数を同じ条件として評価を行えば、得られる結果に差異を生ずると考えられ、より正確な材料評価を行うには、上下層の弾性係数の違いを考慮した評価が必要であることを意味すると考えられる。なお、この傾向は上下層の厚さの違いにより異なっている。また、載荷部と中央部の  $F_v$  は同様の減少傾向となっている。

図-6は、供試体下面にスチール板を重ねた構造とした場合にスチール板の厚さや上層とスチール板の弾性係数比の違いが  $F_v$  に与える影響について Model II の上層上面における  $F_v$  を調べた結果である。(a) 図は、上層とスチール板の弾性係数比を一定 ( $E_2/E_1=100$ ) とし、スチール板の厚さ ( $h_2/L$ ) を変化させた場合の上層上面における  $F_v$  の分布を調べた結果である。なお、上下層の厚さおよび弾性係数比は一定 ( $h_1/L=h_2/L=0.125$ ,  $E_2/E_1=0.5$ ) とした。次に、(b) 図は、各層の弾性係数の違いが、上層上面の荷重載荷部およびスパン中央部における  $F_v$  に与える影響について調べた結果であり、上下層およびスチール板の厚さを一定 ( $h_1/L=h_2/L=0.125$ ,  $h_3/L=0.005$ ) とし、 $E_3/E_1$  および  $E_2/E_1$  を変化させた場合の結果

である。これらより、 $E_3/E_1$  および  $h_3/L$  の増加にしたがい  $F_v$  は減少する結果となっている。また、上下層の弾性係数比  $E_2/E_1$  の違いが  $F_v$  に与える影響について比較すると、(b) 図において例えば  $E_3/E_1=100$  の場合、 $E_2/E_1=0.1$  の  $F_v$  は  $E_2/E_1=1.0$  に比較して約3倍であり、 $E_2/E_1$  が小さいものほど  $F_v$  は大きくなる結果となっており上下層の弾性係数比が  $F_v$  に与える影響は大きい。これは、Model I と同様に、より正確な材料評価を行うには、上下層の弾性係数の違いを考慮した評価が必要であることを意味すると考えられる。なお、載荷部と中央部の  $F_v$  は同様の減少傾向となっている。

図-7は、上層と下層の層間、供試体とスチール板の接着状態の違いが  $F_v$  に与える影響について、Model I および Model II における上層上面の荷重載荷部およびスパン中央部の  $F_v$  と  $k$  の関係を調べた結果である。(a) 図は、2層構造 (Model I) で上下層の厚さを一定 ( $h_1/L=h_2/L=0.125$ ) とし  $E_2/E_1$  を変化させた場合の結果である。(b) 図は、3層構造 (Model II) で  $E_3/E_1$  を変化させた場合の  $F_v$  を示した。なお、供試体の厚さおよび上下層の弾性係数比は一定 ( $h_1/L=h_2/L=0.125$ ,  $h_3/L=0.005$ ,  $E_2/E_1=0.5$ ) である。これらより、 $F_v$  は  $k$  の増加に伴い減少する傾向となっている。また、この傾向は (a) 図では、 $E_2/E_1$  の違いに関わらず同様の減少傾向となっているが、スチール板を重ねた (b) 図では、 $E_3/E_1$  の違いにより  $F_v$  の減少傾向は異なっており、 $E_3/E_1$  が大きいものほど  $F_v$  の減少傾向は顕著となっている。なお、 $E_2/E_1$  および  $E_3/E_1$  の違いに関わらず、 $F_v$  は  $k$  が  $10^1 \sim 10^3$  程度の範囲で影響を受ける。これは、 $k$  を用いて解析を行った場合の特徴と考えられる。



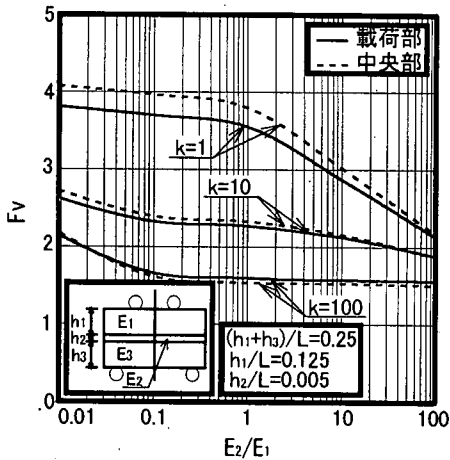


図-8 k および  $E_2$  が  $F_v$  に与える影響 (Model III)

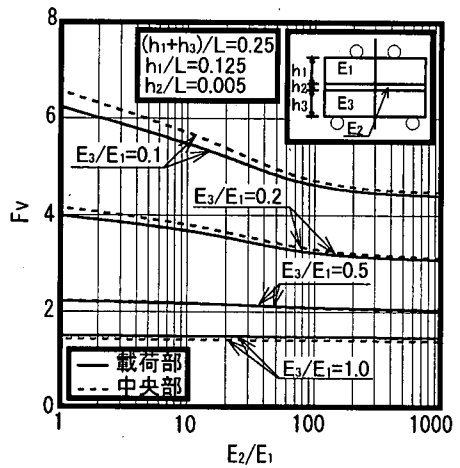


図-9  $E_2$  および  $E_3$  が  $F_v$  に与える影響 (Model III)

以上の結果より、多層構造を有する曲げ供試体を用いて舗装用混合物の材料評価を行う場合、表面たわみは、上下層の厚さや弾性係数比、あるいは層間の接着状態の違いに大きく影響される。さらにスチール板を重ねた構造とした場合、スチール板の厚さや供試体とスチール板の弾性係数比あるいは接着状態の違いが表面たわみに与える影響は大きく、特に供試体を構成する上層と下層の弾性係数の差が大きいほど顕著となる。したがって、多層構造を有する舗装用混合物の材料評価にあたっては、供試体を構成する上層、下層およびスチール板の弾性係数や厚さ、各層間の摩擦の大きさを正確に把握する必要があることを意味すると考えられる。

#### b) Model III

図-8は、上層と下層の間に補強層を挿入した3層構造 (Model III) とした場合に、各層の弾性係数や厚さの違いが表面たわみに与える影響について、補強層の挿入が  $F_v$  に与える影響を調べた結果であり、補強層と供試体の層間の  $k$  (補強層と供試体下層間: CASE III) および弾性係数の違いが  $F_v$  に与える影響について、各層の厚さを一定 ( $h_1/L=h_3/L=0.125$ ,  $h_2/L=0.005$ ) とした場合の上層上面の荷重載荷部およびスパン中央部における  $F_v$  を示している。なお、供試体全体の厚さは一定 ( $(h_1+h_3)/L=0.25$ ,  $h_2/L=0.005$ ) とした。これより、 $F_v$  は  $k$  の違いに関わらず、 $E_2/E_1$  が大きいほど減少する傾向を示している。また、同一の  $E_2/E_1$  について  $k$  が  $F_v$  に与える影響を比較すると、 $k$  が大きいものほど  $F_v$  は小さな値を示している。特に、 $E_2 < E_1$  の場合についても  $k$  が大きいものほど  $F_v$  は小さな値となっている。これは、仮に舗装用混合物より補強層の  $E$  が小さい場合でも、この層の接着効果が高ければ曲げ抵抗を

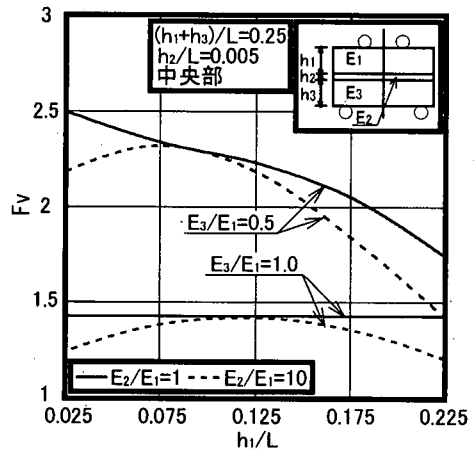


図-10 補強層が  $F_v$  に与える影響 (Model III)

高めるといえる。

図-9は、補強層と供試体が完全に接着した状態 (CASE I) において  $E_2/E_1$  および  $E_3/E_1$  が  $F_v$  に与える影響について図-8と同様の供試体条件で計算した上層上面の荷重載荷部およびスパン中央部における  $F_v$  の結果である。これより  $F_v$  は  $E_3/E_1=1.0$  の場合には  $E_2/E_1$  の違いが  $F_v$  に与える影響は認められないが、 $E_3/E_1$  が小さいものほど  $E_2/E_1$  の増加による  $F_v$  の減少傾向が顕著となっている。また、載荷部と中央部の  $F_v$  は同様の減少傾向となっている。

図-10は、補強層の有無が  $F_v$  に与える影響を補強層を挿入した場合 ( $E_2/E_1=10$ ) および非挿入の場合 ( $E_2/E_1=1$ ) の上層上面のスパン中央部における  $F_v$  について、 $h_1/L$  を変化させて調べた結果である。この図において  $F_v$  は、 $E_3/E_1$  に関わらず  $E_2/E_1=10$  の場合、 $E_2/E_1=1$  と比較して  $F_v$  は減少している。なお、 $E_2/E_1=$

10の場合には、 $F_v$  は上に凸の曲線形状となっており、 $F_v$  が最も大きくなる  $h/L$  は  $E_2/E_1$  により異なっている。また、この  $F_v$  が最も大きくなる  $h/L$  は中立軸付近に補強層が存在することを意味している。さらに、例えば  $E_2/E_1=0.5$  の場合、補強層が中立軸付近にある場合には、補強層の挿入の有無による  $F_v$  の差異は認められないが、補強層が供試体の下面側にある場合ほど非挿入に対する  $F_v$  の減少の割合は顕著となっており、 $h/L=0.225$  における  $F_v$  は、補強層の挿入により非挿入に対し約20%減少する結果となった。なお、これらの傾向は、上層上面の荷重荷重部における  $F_v$  についても同様であった。

以上の結果より、上下層の層間に補強層を挿入した構造とした場合の舗装用混合物の材料評価において、補強層の弾性係数が  $F_v$  に与える影響は大きく、また、補強層の挿入は非挿入に対して  $F_v$  を減少させる効果があると考えられる。特に、補強層は供試体の下面側にあるほど、表面たわみを効果的に減少させると考えられる。

また、補強層を挿入した構造の供試体を用いて材料評価を行う場合には、上下層の弾性係数だけでなく、補強層の弾性係数を把握する必要があると考えられ、Model I、Model II 同様に材料評価にあたっては、供試体を構成する上層および下層と補強層、あるいはスチール板を重ねた構造とした場合には、供試体とスチール板の接着状態が表面たわみに与える影響は大きいと推察されることから、層間の接着状態についても把握する必要があると考えられる。

## 5. 結論

本論文では、表層、基層の両層や鋼床版上の舗装用混合物の材料評価、あるいは補強層を有する舗装用混合物の材料評価などを想定し、いくつかの舗装材料で層状に構成された曲げ試験用供試体について有限帯板法による2次元弾性解析を行った。さらにこの結果を用い、各層の材料定数や厚さの違い、および層境界面の接着状態の違いが上下面のひずみおよび表面たわみに与える影響についていくつかの数値計算により調べた。その結果、多層構造を有する舗装用混合物の材料評価や材料定数の推定を行う上で必要となる変形特性に関する基礎情報が得られた。以下に結果をまとめる。

- (1) 供試体を構成する各層の弾性係数の違いがひずみに与える影響は大きい。
- (2) 供試体を構成する各層の弾性係数の違いが表面たわみに与える影響は大きい。
- (3) はり高さが一定の場合、供試体を構成する各層

の厚さの違いが表面たわみに与える影響は大きく、上層と下層の弾性係数の差が大きいほど顕著となる。

(4) 供試体の層間の接着状態について摩擦抵抗係数  $k$  を用いて解析した結果、接着状態の違いが表面たわみに与える影響は大きい。なお、本論文で示した計算例においては、各層の弾性係数および厚さに関わらず、表面たわみは  $k$  が  $10^1 \sim 10^3$  程度の範囲で影響を受ける。

(5) 上層と下層の層間に補強層を挿入した構造とした場合、補強層の弾性係数および接着状態が表面たわみに与える影響は大きい。また、補強層の挿入は非挿入に比較して表面たわみを減少させ、特に、補強層は供試体の下面側にあるほど、表面たわみを減少させる効果は大きい。

## 6. あとがき

本研究の結果より、表層、基層の両層や鋼床版上の舗装用混合物、あるいは補強層を有する舗装用混合物の材料評価などを多層構造を有する曲げ供試体を用いて行う場合、表面たわみは、上下層の弾性係数や厚さ、あるいは層間の接着状態の違いに大きく影響されると考えられる。したがって、このような場合の材料評価は、供試体を構成する各層の弾性係数および厚さ、また、層間の接着状態については摩擦の大きさを正確に把握する必要があると考えられる。

なお、本解析結果を適用することにより、多層構造を有する舗装用混合物の材料評価において、各層の弾性係数や厚さ、層間の接着状態を考慮した材料評価が可能であり、また、初等理論やひずみゲージの適用が不可能な場合の材料評価も可能と考えられる。さらに、著者らが公表している方法<sup>(9),(11)</sup>を応用することにより、本解析結果を用いて曲げ試験により変位の実測値から材料定数を推定することも可能と考えられる。なお、本解析結果を舗装用混合物の材料評価および材料定数の推定に適用した結果は、別報で報告する。

謝辞：本研究の遂行にあたり、解析手法について北海道大学名誉教授（元日本大学教授）能町純雄先生に有益なるご助言を賜りました。ここに深く感謝いたします。

## 付録 有限フーリエ定和分変換<sup>(6)~(8)</sup>

和分変換の記号を次のようにおく。

$$S_i[f(x)] = \sum_{x=1}^{m-1} f(x) \sin \frac{i\pi}{m} x$$

$$C_i[f(x)] = \sum_{x=1}^{m-1} f(x) \cos \frac{i\pi}{m} x$$

この逆変換公式は、

$$f(x) = \frac{2}{m} \sum_{i=1}^{m-1} S_i[f(x)] \sin \frac{i\pi}{m} x \quad (0 \leq x \leq m)$$

$$f(x) = \frac{2}{m} \sum_{i=0}^m R_i[f(x)] \cos \frac{i\pi}{m} x \quad (0 \leq x \leq m)$$

ここで、

$$R_i[f(x)] = \omega_i \left\{ C_i[f(x)] + \frac{1}{2}(-1)^i f(m) + \frac{1}{2} f(0) \right\}$$

$$\omega_i = \begin{cases} \frac{1}{2} & (i=0, m) \\ 1 & (i=1, 2, \dots, m-1) \end{cases}$$

また、

$$\Delta f(x) = f(x+1) - f(x)$$

$$\Delta^2 f(x) = f(x+1) - 2f(x) + f(x-1)$$

$$\Delta f(x) = f(x+1) - f(x-1)$$

$$D_i = 2 \left[ 1 - \cos \frac{i\pi}{m} \right]$$

を定義し、次の Sine および Cosine 変換に関する式が得られる。

$$S_i[\Delta^2 f(x)] = -\sin \frac{i\pi}{m} \{ (-1)^i f(m) - f(0) \} - D_i S_i[f(x)]$$

$$S_i[\Delta f(x)] = -2 \sin \frac{i\pi}{m} R_i[f(x)]$$

$$C_i[\Delta^2 f(x)] = (-1)^i \Delta f(m-1) - \Delta f(0) - D_i R_i[f(x)]$$

$$C_i[\Delta f(x)] = -(-1)^i \Delta f(m-1) - \Delta f(0) + \left[ 1 + \cos \frac{i\pi}{m} \right] \{ (-1)^i f(m) - f(0) \} + 2 \sin \frac{i\pi}{m} S_i[f(x)]$$

### 参考文献

- 1) 笠原篤, 岡川秀幸, 笠原照雄: アスファルト混合物の動的性状とその舗装構造の力学解析への利用, 土木学会論文報告集, 第254号, pp. 107-117, 1976.
- 2) 間山正一: 各種舗装用混合物の力学性状に関する研究(第5報), 主として混合物の動的性状および疲労特性, 石油学会誌, Vol. 23, No. 4, pp. 348-255, 1980.
- 3) 桐山孝晴, 中村俊行: アスファルト混合物の疲労破壊

基準について, 土木学会第48回年次学術講演会, V-389, pp. 804-805, 1993.

- 4) 羽入昭吉, 渡辺豊, 保苺昭仁: 鋼床版用舗装材料の疲労特性について, 第20回日本道路会議論文集, pp. 632-633, 1993.
- 5) 川田成彦, 田嶋仁志, 半野久光, 江籠洋和: 鋼床版舗装の疲労特性に関する検討, 舗装, 32-8, pp. 10-14, 1997.
- 6) 小野沢誠, 杉内正弘: ステンレスメッシュを挿入したアスファルト混合物の疲労特性, 第19回日本道路会議論文集, pp. 720-721, 1991.
- 7) 藤田勝利, 杉内正弘: リフレクションクラック抑止マットの長期供用性状-北熊本サービスエリアにおける適用例-, 舗装, 26-11, pp. 10-16, 1991.
- 8) 栗谷川裕造, 宮坂好治, 迫水広: 強化樹脂複合シートによる舗装の補強効果, 第22回日本道路会議論文集, pp. 406-407, 1997.
- 9) 栗谷川裕造, 秋葉正一, 木田哲量, 能町純雄: 曲げ試験に用いる舗装用混合物の2次元弾性解析, 土木学会論文集, No. 550/V-33, pp. 63-72, 1996.
- 10) 栗谷川裕造, 秋葉正一, 木田哲量, 能町純雄: 繰返し曲げ試験に用いる舗装用混合物の材料定数推定に関する研究, 土木学会論文集, No. 564/V-35, pp. 211-220, 1997.
- 11) 栗谷川裕造, 秋葉正一, 木田哲量, 能町純雄: 舗装用混合物の疲労試験に関する絶対複素弾性係数推定法の開発とその適用について, 構造工学論文集, Vol. 43A, pp. 21-30, 1997.
- 12) 草間晴幸, 谷岡健: 有限帯板法, 日刊工業新聞社, 1994.
- 13) 岩崎正二, 能町純雄, 木田哲量: 混合境界値帯板法による両端自由の薄肉立体構造物の応力解析, 構造工学論文集, Vol. 36A, pp. 285-294, 1990.
- 14) 姫野賢治, 渡辺隆, 丸山暉彦: 低スティフネス状態におけるアスファルト混合物の疲労破壊特性に関する研究, 土木学会論文集, 第366号/V-4, pp. 143-151, 1986.
- 15) Shyouichi AKIBA, Yuzou KURIYAGAWA, Sumio G. NOMACHI and Narioki AKIYAMA: Two Dimensional Elastic Analysis for Asphalt Mixture on Steel Plate, *J. Materials, Conc. Struct., Pavement.*, JSCE, No. 620/V-43, pp. 303-314, 1999.
- 16) 大島俊之, 能町純雄: 有限ブリズム法による繊維強化複合材の縦波伝搬速度の研究, 土木学会論文報告集, 第297号, pp. 47-57, 1980.
- 17) Nomachi, S. G.: On the Finite Sine Series with Respect to Finite Difference, *the Memorirs of the Muroran Institute of Technology*, 5, No. 1, 1965.
- 18) 大島俊之, 能町純雄: 折板構造解析による閉りブ鋼床版の弾性挙動の研究, 土木学会論文報告集, 第278号, pp. 1-14, 1978.
- 19) 峰岸順一, 増山幸衛, 阿部忠之: アスファルト混合物の一軸圧縮試験による弾性係数の測定, 舗装, 28-6, pp.

- 22-26, 1993.
- 20) S. P. Timoshenko, J. M. Gere : 材料力学本論, 前澤成一郎, 吉峰鼎 共訳, コロナ社, 1975.
- 21) (社) 土木学会 : 構造力学公式集, 1981.
- 22) (社) 日本道路協会 : アスファルト舗装要綱, 1992.
- 23) 阿部長門, 雑賀義夫 : 排水性舗装の力学評価, 道路建設, No. 536, pp. 48-53, 1992.
- 24) 西澤辰男, 姫野賢治, 佐藤亮一, 佐藤育正 : 鋼床版舗装の構造解析法に関する研究, 土木学会論文集, No. 627/V-44, pp. 103-112, 1999.
- (1999. 10. 7 受付)

TWO DIMENSIONAL ELASTIC ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES  
OF LAYERD PAVEMENT MIXTURES IN BENDING TEST

Hirofumi SATO, Shyouichi AKIBA, Yuzou KURIYAGAWA  
and Narioki AKIYAMA

In this research, two dimensional elastic analysis was applied to specimens composed of layers with several different types of pavement mixtures. This analysis was intended for the mechanical evaluation of pavement mixtures through bending test on both surface and binder courses, with a steel plate attached, as well as with a reinforcement layer between them. A series of numerical results obtained gave basic informations for evaluating pavement mixtures quality and their various elastic constants due to layer thickness, material quality and adhesiveness of interfaces.