

V-413

舗装の表面たわみに及ぼす各層間の滑り並びに表面せん断力の影響

松江工業高等専門学校 正員 浜野 浩幹
 日本舗道（株） 正員 山之口 浩
 清水建設（株） 正員 前田 尚彦
 山梨大学 正員 平島 健一

1. はじめに

車両等の道路舗装表面に載荷された荷重による舗装の各層、あるいは路床に発生する応力・変位を知ることが舗装面の破壊や基礎の安定、沈下計算等には欠くことのできない要素である。そのための舗装評価、とりわけ構造評価を行なう方法として、非破壊試験であるフォーリング・ウェイト・デフレクトメータ（FWD）試験によって得られた測定データから舗装各層の材料定数を求めること（逆解析）は舗装の維持管理上、不可欠の問題である。

筆者らはすでに、半無限弾性体に接合された弾性係数の異なる多層弾性体の応力、変位式をPapkovitch-Neuber の関数を用いて求める理論を定式化し、これらを用いて計算した応力、変位の値が Poulos らの厳密解と十分な精度で一致することを検証した。また、上記FWD試験により得られた数点の測定たわみから最小自乗法の原理を用いて各層の弾性定数を逆計算する手法を確立した。しかし、従来からのこの種の研究ではFWD試験をすることに基づいた荷重によるたわみを計算する場合、荷重作用表面に直応力のみが作用するものと仮定して解析が行なわれている。また、たわみ性舗装の場合でも弾性定数（剛性）の異なる層が密着して変形するという仮定をとっており、実際の状況とは違っているために起こる誤差も生じるものと思われる。

以上の観点から、本研究では、層間に滑りを生ずる場合、境界面にクラックが発生する場合、さらに、垂直応力のほかに軸対称のせん断応力が作用した場合等について検討する。

2. 基本式および数値計算例

まず、垂直荷重が作用しているが、せん断力は作用しないときの層間に滑りを生ずる場合を取り扱う。この場合の境界条件は、第 k 層と第 $(k+1)$ 層の境界で、 $0 \leq r < \infty$ の全範囲にわたって次式で与えられる。

$$u_z^{(k)} = u_z^{(k+1)}, \quad \sigma_z^{(k)} = \sigma_z^{(k+1)}, \quad \tau_z^{(k)} = \tau_z^{(k+1)} = c \left(u_r^{(k)} - u_r^{(k+1)} \right) \quad (1)$$

ここに、 $u_z, u_r, \sigma_z, \tau_z$ は文献1)に示す z, r 方向の変位、直応力、せん断応力である。 $k, k+1$ はそれぞれ第 k 層、第 $k+1$ 層のものを示す。また、 c は滑りにくさの程度を示す定数で、 $c=0$ のときはせん断応力が全く働かない自由滑動の状態、 $c=\infty$ のときは完全密着状態を表わす。この c を変化させることにより、滑りにくい状態から自由に滑る状態まで任意の境界面を解析することができる。これにより、層間滑りが表面たわみに及ぼす影響も検討できることになる。図1に半径15cmの円形等分布荷重が作用した2層構造モデルを示す。ここで、荷重は鉛直方向のみでせん断力は働かないとする。図2は上層と下層の間がせん断力が全く働かない状態($c=0$)、すなわち層と層が自由に滑る場合と、完全に密着している場合を比較したものである。この図より完全滑りの場合が完全密着の場合より21%程度たわみが大きく出ていることがわかる。また、図3は c を変化させた場合の層境界面のせん断応力の状態を計算したものである。 $c=0$ 、す

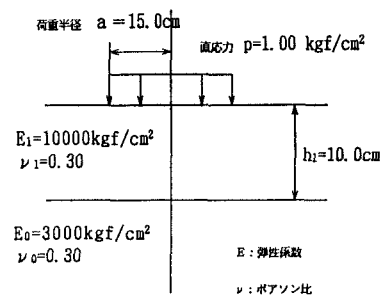


図1. 2層モデル

なわち、完全に滑る場合はせん断応力は0となり、 $c=\infty$ のときは $c=100$ の曲線と一致している。これらより、 c の大きさにより舗装体の変形状態が変化することが認められる。

次に、直応力と同時に、軸対称のせん断力が作用するものとして解析を行ない、それが表面たわみにどのような影響を及ぼすか検討する（図4）。せん断応力の式は次式を用いた。

$$\tau_{\max} = \mu \cdot a \cdot p / G_2 \quad (2)$$

μ はせん断応力を変化させるための定数、 a は荷重半径、 p は直応力の大きさ、 G_2 は表面のせん断弾性係数である。図5にこのせん断応力 $r=0.0$ から $r=\infty$ 方向に外向きに作用させた場合の鉛直変位 u_z を示す。この計算では、 $\mu=0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0$ の6通りの値について計算した。 $\mu=0.0$ の場合はせん断応力の大きさが零であるから直応力のみが作用している場合である。 $R \geq 4a$ の範囲ではどの場合も一致しているが、 $R \leq 2a$ の範囲では $\mu=0.0$ の場合に比べてかなり増加しているのが見られる。

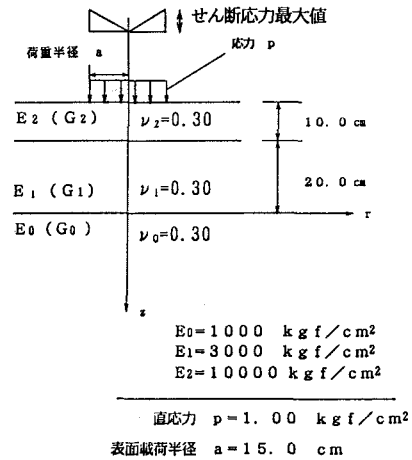


図4．3層モデル

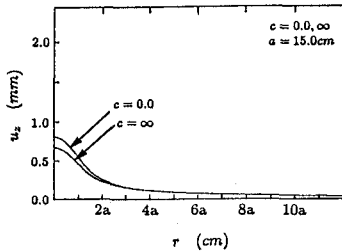


図2．層間に滑りが発生する場合の u_z

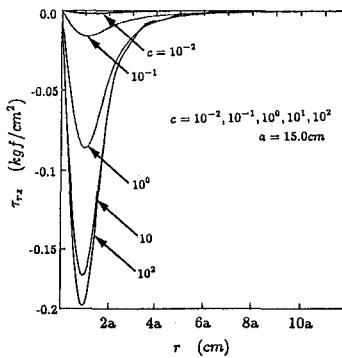


図3．層間に滑りが発生する場合の τ_{rz}

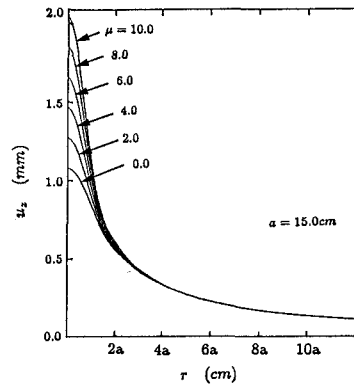


図5．表面にせん断力が作用する場合の u_z

3. おわりに

FWD試験は舗装の構造評価を行なう方法としての非破壊試験の一つとして極めて有用な方法である。筆者らは Uzan らの逆計算を行なう方法を利用して測定たわみから各層の弾性係数を逆計算する方法を提案した。これらは十分な精度で解が得られているが、従来までの構造モデルは層間に滑りが生ずる場合や、FWD試験による荷重が鉛直荷重のみでせん断力を考慮していないために生ずる誤差が発生するものと思われる。本研究ではこれらにたいして検討を行なうことを目的としたもので、より正確な解析が期待され、また、制動荷重に対する舗装構造物の応力・変位解析にも適用できるものである。

4. 参考文献 1) 浜野, 平島: 松江高専研究紀要第27号(理工編), PP.137-161, 1993年3月. 2) Uzan, J., Scullion, T., Michalek, C.H., Paredes, M., Lytton, R.L.: A Microcomputer Based Procedure for Back-calculating Layer Moduli from FWD Data, Research Report 1123-1, The Texas A&M University(1988,9). 3) 松井, 井上, 三瓶, 土木学会論文集, 第420号/V-13, pp.43-49, 1990年8月.