

粒状材弾性係数の上載荷重依存性を考慮した舗装の構造解析

東京電機大学 正会員 藤波 潔, 東京電機大学 正会員 James MAINA
 東京電機大学 フェロー 松井邦人, 国土館大学 フェロー 菊田征勇

1. はじめに

舗装は多層弾性構造としてモデル化し、解析を行っている。このとき、路盤や路床も等質、等方性の連続体と仮定している。しかし、粒状材料は明らかに連続体ではなく、その弾性係数は上載荷重と側方土圧に依存するという非線形モデルを利用すべきであるとの提案もある。本研究ではそのような提案に基づき、路盤、路床の弾性係数を上載圧、側方土圧の関数として表現し、応答解析を行っている。BALMを用いて各層内で変動する弾性係数と等価な層弾性係数を評価し、構造モデルの違いが舗装のひずみと寿命に及ぼす影響を検討した。寿命予測は「舗装設計施工指針」¹⁾の疲労破壊基準に基づいて行った。

2. 舗装の非線形モデル

非拘束材の弾性係数は、拘束圧に依存すると言われている。路盤や路床の弾性係数として、種々なモデル²⁾が提案されているが、本研究では次のモデルを用いている。

$$\text{路盤 } E_2 = k_1 q^{k_2} \quad (1)$$

$$\text{路床 } E_3 = k_3 s_1^{k_4} \quad (2)$$

ここに、 $q = s_1 + s_2 + s_3$ (s_1 : 鉛直方向の垂直応力, s_2, s_3 : 水平方向の垂直応力) である。

舗装構造が n 層からなる時、各層の厚さと密度をそれぞれ h_i, r_i とすると、深さ z における上載圧 s_{z0} は、式(3)により計算できる。

$$s_{z0} = \left(\sum_{i=1}^{j-1} r_i g h_i \right) + r_j g \left(z - \sum_{i=1}^{j-1} h_i \right) \quad (j \leq n) \quad (3)$$

上載圧による水平方向の圧力 s_{h0} は、横土圧係数 K_0 と上載圧 s_{z0} を用いて、式(4)により計算できる。

$$s_{h0} = K_0 s_{z0} \quad (4)$$

締め固められた上層粒状路盤、下層路盤、路床のような、過圧密状態にある材料では、 K_0 は大きな値にな

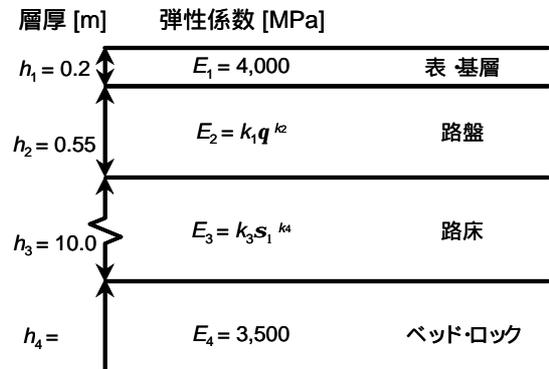


図1 解析モデル

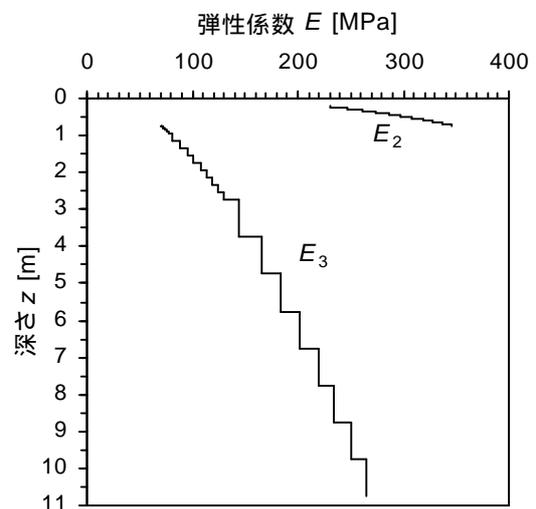


図2 路盤と路床の弾性係数

る。実験から求めた K_0 の値は、舗装材の場合0.7～1.3の範囲にあることが知られている。

本研究では、舗装を表・基層、路盤、路床、ベッド・ロックの4層構造でモデル化できるものとする。その寸法は、図1に示す通りである。路盤、路床の弾性係数はそれぞれ式(1)、(2)を用いて求めた。文献3)を参考に、 $k_1=473$, $k_2=0.38$, $k_3=199$, $k_4=0.55$ としている。深さ方向の路盤と路床の弾性係数を図2に示す。ここで、路盤と路床の弾性係数の平均値は、それぞれ306MPa, 185MPaである。また、ベッド・ロックの弾性係数は固定($E_4=3,500$ MPa)としている。ポアソン比は全ての層で0.35としている。舗装表面には半径0.15m, 49kNの鉛直等分布荷重が作用している。

キーワード 多層弾性構造, 非線形, 逆解析, ひずみ, 寿命予測

連絡先 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 東京電機大学理工学部建設環境工学科 TEL049-296-2911

3. 線形モデルを用いた逆解析

これまで逆解析は舗装を構成する各層の弾性係数を一定として計算を行ってきた。このモデルを線形モデルと呼んでいる。前節で述べた拘束圧の影響を考慮して算定した弾性係数を用いて計算した表面たわみを用いて逆解析を行い、層弾性係数を推定する。これは、各層内部の弾性係数の変動に対する見かけ上の等価な弾性係数を求めることになる。

ここでは、図1に示す層厚を用いて4層構造で逆解析を行った。路床上面より10mのところの固い層（ベッド・ロック）の弾性係数は固定（ $E_4=3,500\text{MPa}$ ）とした。その結果、各層の弾性係数は $E_1=4,183\text{MPa}$ $E_2=229\text{MPa}$ $E_3=122\text{MPa}$ となった。非線形モデルと比較すると、表・基層の弾性係数は5%弱大きくなり、路盤と路床については非線形モデルの平均値よりかなり小さな値となっている。荷重載下点直下からの水平距離 x と表・基層下面、路床上面のひずみとの関係を図3に示す。表・基層下面におけるひずみ e_x は非線形モデルと線形モデルとで殆ど変わらないのに対し、路床上面のひずみ e_z は両モデルで大きく異なる。

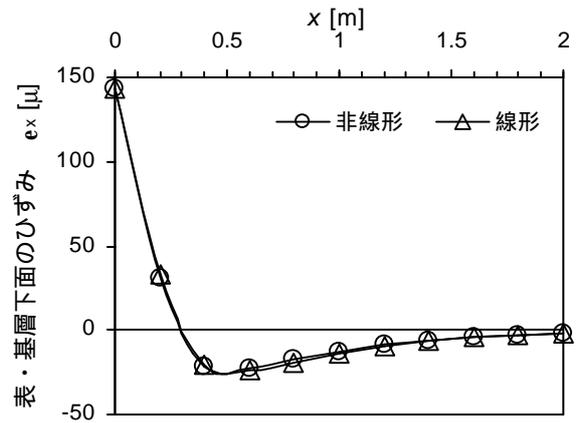
4. 寿命評価に及ぼす影響

先に計算した線形モデルと非線形モデルのひずみを用いて、疲労破壊基準に基づき許容49kN輪数を計算したものを表1に示す。ここで、アスファルト混合物量12.5%、空隙比4.4%とした。本研究では、モデルの非線形性の影響を検討するのが目的であるため、アスファルト混合物の弾性係数は一定としている。表1から明らかなように、許容輪数は非線形モデルと線形モデルとで大きく異なる。このことは、路床の適切な構造モデルを構築することの重要性を示唆している。

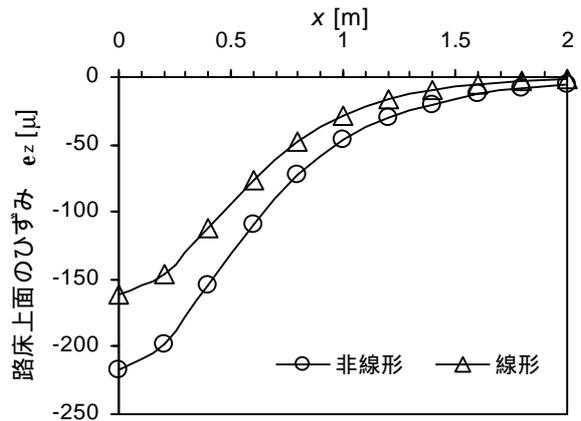
5. 結論

弾性係数の拘束圧依存モデルを用いて解析を行った結果を要約すると、以下の通りである。

- 1) 非線形モデルの表面たわみを用いて、層内の弾性係数を一定として逆解析を行うと、路盤や路床の弾性係数を低く評価する傾向にある。
- 2) 表・基層下面のひずみ e_x は、非線形モデルと線形モデルとでほぼ等しい値となっているのに対し、路床上面のひずみ e_z は、荷重載下点直下で非線形モデルの方が線形モデルより35%大きくなる。
- 3) 非線形モデルと等価な線形モデルで路床の予測寿命



(a) 表・基層下面 e_x



(b) 路床上面 e_z

図3 表・基層下面と路床上面のひずみ

表1 疲労破壊基準に基づく許容49kN輪数

	非線形	線形
表・基層下面 (ϵ_x)	7,289,647	7,046,990
路床上面 (ϵ_z)	34,073,515	131,921,525

を比較した結果より、FWD試験から推定した弾性係数で寿命予測を行うと、特に路床の寿命を大きく誤る可能性がある。

【参考文献】

- 1) (社)日本道路協会：舗装設計施工指針，平成13年12月。
- 2) Irwin L.H. and Speck : NELAPAV User's Guide, Cornell University, Local Roads Program Report, No.86-1, Revised March 2003.
- 3) Lytton, R.L. : Backcalculation of Pavement Layer Properties, Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli, STP 1026, Bush, A.J. III and Baladi, G.Y., eds., ASTM, pp.7-38, 1989.