

V-27

路床面下に固い層を考慮した舗装構造評価

東京電機大学 学生員 ○岡田 貢一

東京電機大学 正会員 松井 邦人

1. はじめに

これまでBISARを用いて逆解析を行う場合、路床の深さは半無限であると考えていた。しかし、路床以下の比較的浅い位置に固い層があるとき、路床の推定弾性係数を過大に評価することになるということが知られている。したがって、本研究ではFWD試験より測定された表面たわみデータを用いて逆解析を行うとき、路床以下の固い層の弾性係数を1000000kgf/cm²と仮定し、各層の弾性係数と路床の深さの推定を行い固い層の存在を無視したときとの比較を行った。

2. 理論

図-1に示すような多層弾性モデルで、測定された表面たわみと解析された表面たわみが一致するように、各層の弾性係数と路床面から固い層までの深さを決定したい。未知変数を $E = \{E_1, E_2, \dots, E_M\}$ 、 h とする。ここで最下層の弾性係数は、1000000kgf/cm²で固定である。測点 i における測定たわみを u_i 、解析たわみを $z_i(E, h)$ として評価関数 f を、

$$f = \sum_{i=1}^N \{u_i - z_i(E, h)\}^2 \quad (1)$$

と置き、一次の項までテイラー展開すると、

$$f = \sum_{i=1}^N \left\{ u_i - z_i(E, h) - \sum_{j=1}^M \frac{\partial z_i}{\partial E_j} \delta E_j - \frac{\partial z_i}{\partial h} \delta h \right\}^2 \quad (2)$$

となる。これらの評価関数が最小となるように E 、 h を設定する。これは非線形最小自乗問題であり、評価関数 f を最小とするための必要条件は、

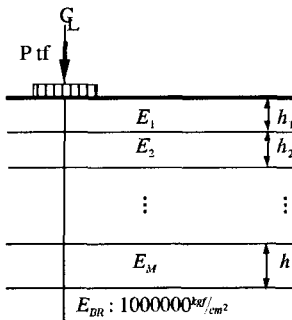


図-1 多層弾性モデル

$$\frac{\partial f}{\partial \delta E_k} = \sum_{i=1}^N \left\{ u_i - z_i(E, h) - \sum_{j=1}^M \frac{\partial z_i}{\partial E_j} \delta E_j - \frac{\partial z_i}{\partial h} \delta h \right\} \left\{ -\frac{\partial z_i}{\partial E_k} \right\} = 0 \quad (k=1, 2, \dots, M)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \delta h} = \sum_{i=1}^N \left\{ u_i - z_i(E, h) - \sum_{j=1}^M \frac{\partial z_i}{\partial E_j} \delta E_j - \frac{\partial z_i}{\partial h} \delta h \right\} \left\{ -\frac{\partial z_i}{\partial h} \right\} = 0 \quad (3)$$

これらを整理すると、

$$\sum_{i=1}^N \left\{ \sum_{j=1}^M \frac{\partial z_i}{\partial E_j} \frac{\partial z_i}{\partial E_k} \right\} \delta E_j + \sum_{i=1}^N \frac{\partial z_i}{\partial h} \frac{\partial z_i}{\partial E_k} \delta h = \sum_{i=1}^N \left\{ u_i - z_i(E, h) \right\} \left\{ -\frac{\partial z_i}{\partial E_k} \right\} \quad (k=1, 2, \dots, M)$$

$$\sum_{i=1}^N \left\{ \sum_{j=1}^M \frac{\partial z_i}{\partial E_j} \frac{\partial z_i}{\partial h} \right\} \delta E_j + \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{\partial z_i}{\partial h} \right\}^2 \delta h = \sum_{i=1}^N \left\{ u_i - z_i(E, h) \right\} \left\{ -\frac{\partial z_i}{\partial h} \right\} \quad (4)$$

となる。上式は δE_j 、 δh に関する線形連立方程式である。これらを解くことにより、弾性係数 E 、路床面から固い層までの深さ h を推定する事ができる。

3. 路床以下の堅い層を考慮しない場合

路床の深さ h が半無限であると考えて、図-2に示す固い層を無視した4層構造モデルで、BISARを用いて順解析し表面たわみを求め、その結果を表-1に示す。測定位置は載荷点より、30cm毎に180cmまでの7点とした。また、図-2において路床以下の固い層が舗装表面より15.0m、10.0m、6.0m ($h=14.4$ m、9.4m、5.4m) に存在すると仮定してBISARを用いて順解析し

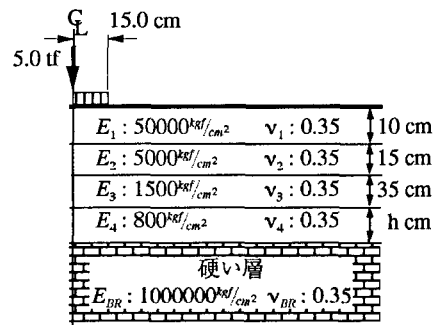


図-2 舗装構造モデル

て得られた表面たわみも表-1に示す。

表-1 表面たわみデータ

(単位: cm)

表-1に記した表面たわみデータと、図-2のポアソン比、層厚の値を用いて、また h を ∞ として逆解析し、各層の弾性係数を求めた。その結果を表-2に示す。

固い層があるにも関わらず、無視して逆解析を行うと、4層目の弾性係数を大きく、3層目を小さく、2層目を大きく、1層目を小さく評価することになる。

表-2 固い層を無視した逆解析弾性係数

測定位置	0.0 cm	30.0 cm	60.0 cm	90.0 cm	120.0 cm	150.0 cm	180.0 cm
固い層の位置	∞	0.0536	0.0381	0.0259	0.0189	0.0146	0.0117
	15m	0.0520	0.0365	0.0243	0.0173	0.0130	0.0102
	10m	0.0512	0.0358	0.0235	0.0166	0.0123	0.0094
	6m	0.0497	0.0343	0.0221	0.0151	0.0108	0.0060

4. 路床以下に固い層を想定した場合

表-1に記した表面たわみデータで路床以下の固い層を想定し、各層の弾性係数に加え路床面から固い層までの深さ h を未知数として逆解析を行った。固い層の弾性係数を1000000kgf/cm²、ポアソン比を0.35として、各層の弾性係数と路床の層厚を推定した結果を表-3に示す。

路床面から固い層までの深さ h が真値と比較するとずれているのは表面たわみとして、小数点以下5桁目を四捨五入した表-1の値を用いていることによる。

表-3 固い層を考慮した逆解析弾性係数と固い層の位置

	E1 (kgf/cm ²)	E2 (kgf/cm ²)	E3 (kgf/cm ²)	E4 (kgf/cm ²)	h (cm)	評価関数
固い層の位置	∞	55585.8	4547.8	1577.0	776.2	6673.2
	15m	47848.9	5321.2	1441.9	820.1	1756.2
	10m	54649.7	4340.5	1628.4	771.0	808.6
	6m	49704.7	5151.3	1469.8	803.4	543.2

表-4 実測値を用いた逆解析結果

	E1 (kgf/cm ²)	E2 (kgf/cm ²)	E3 (kgf/cm ²)	E4 (kgf/cm ²)	h (cm)	評価関数
X 機 関	A	32660.0	2461.5	518.5	729.2	7.636E-08
	B	45726.5	2416.3	628.0	739.1	8.237E-08
	C	35138.3	2956.8	290.0	610.8	2.102E-07
	A	36581.8	1874.0	689.9	657.7	1751.0
	B	52613.6	1502.5	884.4	680.5	2363.5
	C	46416.3	1415.1	616.7	459.6	684.2
Y 機 関	A	9556.8	6844.5	544.1	603.4	8.014E-06
	B	4676.3	9502.4	879.9	609.8	5.229E-06
	C	10596.3	3210.1	733.8	562.7	1.680E-05
	A	15541.7	4647.3	756.1	529.7	1579.3
	B	9211.9	5527.4	1056.1	555.2	2025.8
	C	17390.3	2048.0	1018.3	507.3	1921.4
Z 機 関	A	54297.5	309.0	3654.9	731.7	2.882E-06
	B	76361.7	247.8	11478.1	766.3	1.081E-06
	C	45323.3	1169.8	357.4	600.0	3.528E-06
	A	45596.6	280.2	19889.1	587.3	813.4
	B	68880.1	290.0	9900.7	702.7	2734.1
	C	48698.1	232.5	8537.7	480.3	667.3

5. 実測値を用いた逆解析

1991年3月に建設省土木研究所試験舗装路において行われた、第1回FWD共通試験の測定データを用いて逆解析をした。図-3に示す4層構造のアスファルト舗装工区のA、B、C地点で7回測定されたたわみデータの平均値を用いて、路床以下の固い層を考慮した場合と、そうでない場合とで逆解析を行った。その結果の比較を表-4で行った。

6. おわりに

以下のようなことが明らかになった。

- ① 固い層があるとき、それを無視して逆解析すると、路床の弾性係数を高く、その上の層を低く評価する。
- ② 本手法は、固い層があるときその深さを推定できる。
- ③ 実測データに適用すると、固い層を考慮することにより、弾性係数の逆転する回数も減り、このようなアルゴリズムを更に検討するに値する。

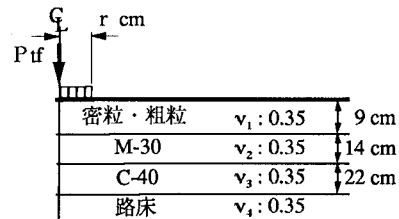


図-3 アスファルト舗装構造