

V-19

動的変位データと静的モデルを用いた舗装構造物の逆解析

東京電機大学 大学院 ○学生員 三瓶辰之
 東京電機大学 理工学部 正会員 松井邦人
 日本舗道㈱ 正会員 井上武美

1. はじめに

舗装構造物の健全度あるいは劣化状態を推定するため、FWD等を用いて得られた表面変位から各層の剛性を推定することが行われてきた¹⁾。このとき、測定データは動的にもかかわらず、静的なものと見なし逆解析を行っている。このような処理の妥当性を検討するため、本研究ではこの検討が容易なように、舗装構造を有限要素でモデル化し、動的解析を行って動的変位データを求めた。その各測定点での最大値を用いて、静的モデルで逆解析を行い、モデルの違いが剛性の推定値に及ぼす影響を検討した。

2. 舗装構造の順解析と逆解析

図-1のように動的荷重を受ける舗装構造物を有限要素法でモデル化すると

$$M \ddot{z}^d(t) + K z^d(t) = Q^d(t) \quad (1)$$

$$z^d(0) = \dot{z}^d(0) = 0$$

M：質量マトリックス、K：剛性マトリックス

$Q^d(t)$ ：動的外力ベクトル、 $z^d(t)$ ：変位応答ベクトル

$\dot{z}^d(t)$ ：速度応答ベクトル、 $\ddot{z}^d(t)$ ：加速度応答ベクトル

動的外力としては、図-2に示すような半周期SIN波を用いた。また、静的外力が作用するとき有限要素モデルは

$$K z^s = Q^s \quad (2)$$

となる。Kは式(1)と同様の剛性マトリックス、 Q^s は静的外力、 z^s は静的変位ベクトルである。

いま、測定変位ベクトルをdとすると、

$$d = \Gamma z + \varepsilon \quad (3)$$

Γ は節点変位と測定変位を対応付けるマトリックス、 ε は誤差ベクトルである。層剛性は、式(3)の誤差ベクトルの重み付き二乗和を最小にするように決定すれば良い。

即ち、

$$\begin{aligned} \min_{E_j} J &= \min_{E_j} \frac{1}{2} W_i \varepsilon^T W \varepsilon \\ &= \min_{E_j} \frac{1}{2} (d - \Gamma z)^T W (d - \Gamma z) \end{aligned} \quad (4)$$

式(4)はEに関する非線形最小化問題である。準Newton法等によりこの問題を解くことも可能であるが、計算時間等の点からGauss-Newton法を適用するのが適切である。最適解の近傍でzをテイラー展開すると

$$z(E + \delta E) = z(E) + \frac{\partial z}{\partial E} \delta E \quad (5)$$

上式を式(4)に代入すると、式(4)の最小化問題は

$$\min_{\delta E} \widehat{J} = \min_{\delta E} \frac{1}{2} \{ d - \Gamma (z + \frac{\partial z}{\partial E} \delta E) \}^T W \{ d - \Gamma (z + \frac{\partial z}{\partial E} \delta E) \} \quad (6)$$

式(6)を最小とする必要条件是

$$\frac{\partial \widehat{J}}{\partial \delta E} = \{ d - \Gamma (z + \frac{\partial z}{\partial E} \delta E) \}^T W (-\Gamma \frac{\partial z}{\partial E}) = 0$$

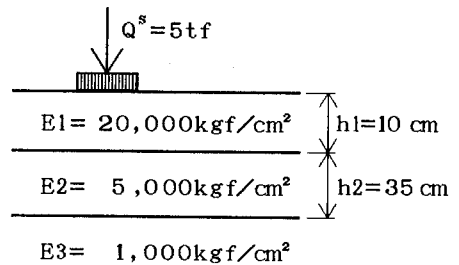


図-1 3層の舗装構造物モデル

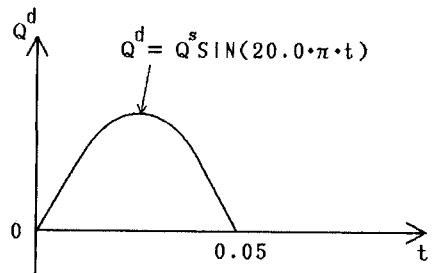


図-2 動的外力モデル

$$\therefore \left(\frac{\partial \mathbf{z}}{\partial \mathbf{E}} \right)^T \Gamma^T \mathbf{W} \Gamma \left(\frac{\partial \mathbf{z}}{\partial \mathbf{E}} \right) \delta \mathbf{E} = (\mathbf{d} - \Gamma \mathbf{z})^T \mathbf{W} \Gamma \frac{\partial \mathbf{z}}{\partial \mathbf{E}} \quad (7)$$

式(7)は $\delta \mathbf{E}$ に関する線形連立方程式となり、容易に解くことができる。但し、 $\partial \mathbf{z}^* / \partial \mathbf{E}$ は逆解析に静的モデルを用いるとき、式(2)より計算できる。即ち式(2)を $\mathbf{E}$ で偏微分すると

$$\mathbf{K} \frac{\partial \mathbf{z}^*}{\partial \mathbf{E}} = - \frac{\partial \mathbf{K}}{\partial \mathbf{E}} \mathbf{z}^* \quad (8)$$

3. 計算結果

図-1のモデルより静的変位を求めた。また、図-1の舗装モデルに図-2の外力を作用させ動的変位を計算した。表-1に着目点の静的変位と動的変位の最大値を併記した。実測変位の代わりにこれらの変位を用い、舗装の層剛性を未知とし、逆解析を行った。逆解析モデルとして静的モデルを用いた結果を表-2、及び表-3に示す。前者は、順解析及び逆解析に静的モデルを用い、後者は、順解析には動的モデル、逆解析には静的モデルを用いている。

表-1 解析変位 (単位:cm)

測定位置	0.0	7.5	15.0	32.5	50.0	75.0	100.0
静的荷重	0.2502E-01	0.2207E-01	0.1838E-01	0.1072E-01	0.6631E-02	0.3749E-02	0.2979E-02
動的荷重	0.2526E-01	0.2238E-01	0.1875E-01	0.1120E-01	0.7127E-02	0.4219E-02	0.3436E-02

表-2 静的変位を用いた逆解析結果

層数 : 3 変位測定個数 : 5
 入力変位 (cm) : 0.2502E-01, 0.1838E-01
 0.6631E-02, 0.3749E-02
 0.2979E-02
 弾性係数(初期値)
 (kgf/cm²): 20000, 5000, 1000

litr	E1	E2	E3	f
1	3.0000E+04	7.0000E+03	2.5000E+03	1.5000E-01
2	2.5500E+04	5.9500E+03	2.1250E+03	1.5000E-01
3	2.1675E+04	5.3358E+03	1.8063E+03	1.5000E-01
4	1.9362E+04	5.3196E+03	1.5353E+03	1.5000E-01
5	1.9775E+04	5.1580E+03	1.3050E+03	1.5000E-01
6	1.9919E+04	5.0562E+03	1.1093E+03	1.0951E-01
7	1.9989E+04	5.0078E+03	9.8779E+02	1.2219E-02
8	2.0000E+04	5.0002E+03	9.9986E+02	1.5048E-04
9	2.0000E+04	5.0002E+03	1.0000E+03	4.4563E-06
10	2.0000E+04	5.0001E+03	1.0000E+03	1.0119E-05
11	2.0000E+04	5.0001E+03	1.0000E+03	7.0523E-06
12	2.0000E+04	5.0001E+03	1.0000E+03	8.0101E-06
13	2.0000E+04	5.0001E+03	1.0000E+03	9.3318E-07

表-3 動的変位を用いた逆解析結果

層数 : 3 変位測定個数 : 5
 入力変位 (cm) : 0.2526E-01, 0.1875E-01
 0.7127E-02, 0.4219E-02
 0.3436E-02
 弾性係数(初期値)
 (kgf/cm²): 20000, 5000, 1000

litr	E1	E2	E3	f
1	3.0000E+04	7.0000E+03	2.5000E+03	1.5000E-01
2	2.5500E+04	5.9500E+03	2.1250E+03	1.5000E-01
3	2.1675E+04	5.6793E+03	1.8063E+03	1.5000E-01
4	1.9803E+04	5.4841E+03	1.5353E+03	1.5000E-01
5	2.0170E+04	5.3195E+03	1.3050E+03	1.5000E-01
6	2.0361E+04	5.1797E+03	1.1093E+03	1.5000E-01
7	2.0470E+04	5.1045E+03	9.4287E+02	3.4187E-02
8	2.0513E+04	5.0758E+03	9.1064E+02	1.1894E-03
9	2.0514E+04	5.0752E+03	9.1172E+02	2.6115E-06
10	2.0514E+04	5.0752E+03	9.1172E+02	6.7878E-06
11	2.0514E+04	5.0752E+03	9.1173E+02	8.9747E-06
12	2.0514E+04	5.0752E+03	9.1172E+02	4.7562E-06
13	2.0514E+04	5.0752E+03	9.1172E+02	5.0613E-07

以上より、動的データを用いて静的モデルで逆解析すると、動的荷重で考えられるように、上層の剛性が少し高く評価されることが示された。しかし、ここで考えた動的外力モデルを用いると、逆解析に動的モデルを用いなくとも差ほど推定値に誤りを生じないように思われる。

4. おわりに

今回の研究では、動的モデルに減衰を考慮してはいない。しかし実際の問題では減衰が存在すると考えるのが妥当である。減衰のモデル化、及び減衰が剛性に及ぼす影響を検討する必要がある。

<参考文献> 1) 松井邦人、岡崎竜也、井上武美：拡張最小2乗法に基づく弾性多層構造の逆解析、第23回土質工学研究発表会、昭和63年6月