

逆解析手法の違いが舗装の寿命評価に与える影響

東京農業大学 正会員 川名 太, 竹内 康, 小梁川 雅
東京電機大学 フェロー会員 松井 邦人

1. はじめに

FWD 試験は、衝撃的な荷重を路面に作用させ、それにより生じるたわみを測定する試験である。そのため、FWD 試験データを逆解析して、舗装各層の弾性係数を評価する場合には、たわみの時系列データのマッチングを行う動的逆解析を用いることが望ましい。著者らは、既報¹⁾において、本問題に対する動的逆解析の適用性を示すと共に、静的逆解析で推定した弾性係数は、動的逆解析で得られる弾性係数より大きくなる傾向があり、これを用いてひずみを算定すると設計において危険側の評価になる可能性を示している。本報告では、シミュレーションデータを用いて、静的逆解析および動的逆解析を行い、推定された弾性係数に基づいてひずみを算定し、許容 49kN 輪数を指標として、逆解析手法の違いによって推定される弾性係数の差異が舗装の疲労寿命の評価に与える影響を調査した結果を示す。

2. 逆解析

まず、図-1 に示す交通量区分 N7, N6, N5 および N4 相当の 4 層の舗装構造（以下、それぞれ N7 断面、N6 断面、N5 断面および N4 断面と称す。）を対象として、シミュレーションデータを作成した。計算に用いた物性値は、表-1 に示す通りである。なお、1 層目の弾性係数は、3000MPa とした場合（Case1）と 8000MPa とした場合（Case2）の 2 ケースを設定している。載荷荷重は、円形載荷板の半径を 15cm, 最大荷重 49kN, 周期 0.04s のハーバーサイン波として与えた。たわみの計算位置は、載荷板中央より 0, 30, 60, 90, 120, 150 および 200cm とし、

0.1 秒間の時系列データを得た。

このたわみ波形を用いて動的逆解析を行い、各層の弾性係数を推定した。また、たわみ波形の最大値を用いて静的逆解析を行った。なお、逆解析の結果は、初期値の影響を受けることから、1 層目については 2000～10000MPa, 2 層目は 300～800MPa, 3 層目は 100～300MPa, 4 層目は 20～100MPa の範囲より 50 セットの初期値をランダムに設定し、各々について逆解析を実行した。表-2 および表-3 は、50 セットの初期値に対する逆解析結果の平均値と変動係数を示している。静的逆解析の 1 層目、2 層目および 4 層目の推定値は、シミュレーションデータを作成したときに設定した弾性係数（以下、真値と称す）よりも大きく、3 層目の弾性係数を小さく評価しており、変動係数も大きい。一方で、N7 断面、N6 断面および N5 断面の動的逆解析の結果は、真値を適切に推定できており、変動係数も小さい。N4 断面の動的逆解析の結果については、3 層目および 4 層目の弾性係数は真値に近い値になっているものの、1 層目と 2 層目の弾性係数は真値とは大きく異なっており、変動係数が極端に大きい。そこで、N4 断面の 1 層目の弾性係数を 30000MPa として別途同様の検討を行ったところ、動的逆解析により真値を得ることができた。1 層目の弾性係数を 3000MPa とした場合と 10 倍の 30000MPa とした場合のそれぞれについて、

表-1 計算モデル

層目	弾性係数 [MPa]	減衰係数 [MPa・s]	ポアソン比	密度 [kg/m ³]
1 層目	Case1 3000	30.0	0.35	2300
	Case2 8000	80.0		
2 層目	500	5.0	0.35	2000
3 層目	150	1.5	0.35	1800
4 層目	60	0.3	0.40	1600

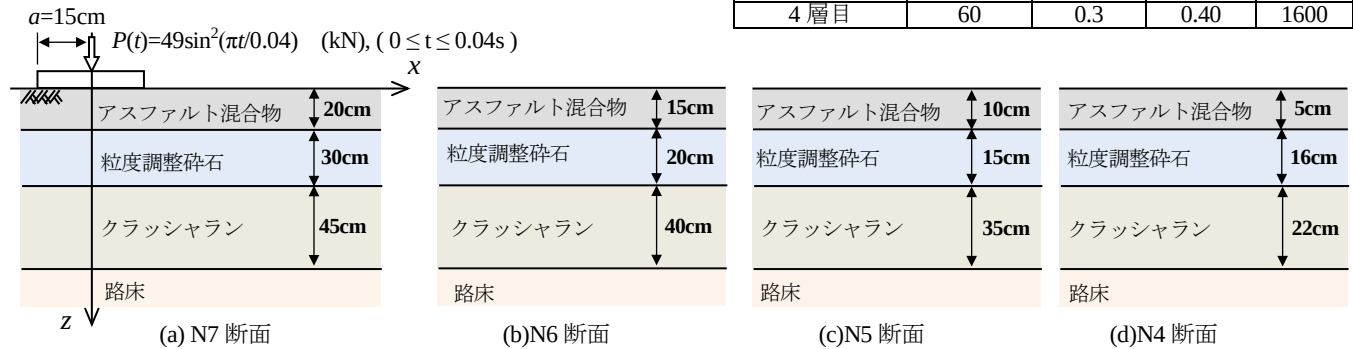


図-1 計算モデル

キーワード 動的逆解析, FWD 試験, 許容 49kN 輪数
連絡先 〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1 東京農業大学地域環境科学部生産環境工学科 TEL 03-5477-234

表-2 逆解析で得られた弾性係数[MPa]

断面	逆解析の方法	Case1				Case2			
		1層	2層	3層	4層	1層	2層	3層	4層
N7	動的	3008	502	150	60	8016	502	150	60
	静的	4056	813	126	114	10626	917	103	121
N6	動的	3007	502	150	60	7979	508	149	60
	静的	3899	859	131	103	9661	1058	110	107
N5	動的	3012	501	151	60	7859	518	149	60
	静的	3467	883	144	94	8564	1088	127	97
N4	動的	4242	462	149	60	6703	539	149	60
	静的	922	1069	181	87	4598	951	139	89

同じ割合で弾性係数を変化させ、舗装表面のたわみを計算すると、弾性係数の大きい 30000MPa の方がたわみに大きな差が生じる結果となった。以上より、弾性係数によっては、薄層が舗装表面のたわみに与える影響が小さくなり、推定値の信頼性が低下する場合があることが確認された。

3. 許容 49kN 輪数

次に、静的逆解析と動的逆解析によって推定された弾性係数の差異によって、舗装の疲労寿命の評価にどの程度影響するのかを、許容 49kN 輪数を用いて確認した。なお、アスファルト混合物層下面の水平ひずみおよび路床上面の鉛直ひずみは、GAMES を用いて静的解析により算定した。アスファルト混合物層のひび割れに対する許容 49kN 輪数および路床の永久変形に対する許容 49kN 輪数は、それぞれ以下の式(1)および(2)を用いて算定した。なお、計算条件は、文献 2)を参考に設定した。

$$N_{fa} = \beta_{a1} \cdot 10^M \cdot \left(6.167 \times 10^{-5} \cdot \varepsilon_r^{-3.291 \cdot \beta_{a2}} \times E^{-0.854 \cdot \beta_{a3}} \right) \quad (1)$$

ここに、

N_{fa} : アスファルト混合物層のひび割れに対する許容 49kN 輪数

ε_r : アスファルト混合物層下面に発生する水平ひずみ

E : アスファルト混合物層の弾性係数 [MPa]

$$M : M = 4.84 \{ V_b / (V_b + V_v) - 0.69 \}$$

V_b : アスファルト量 [容積 %]

V_v : 空隙率 [%]

$$N_{fs} = \beta_{s1} \cdot 1.365 \times 10^{-9} \times \varepsilon_z^{-4.477 \beta_{s2}} \quad (2)$$

ここに、

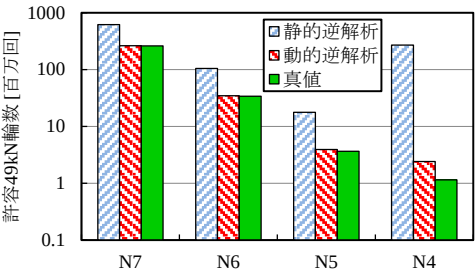
N_{fs} : 路床の永久変形に対する許容 49kN 輪数

ε_z : 路床表面の鉛直ひずみ

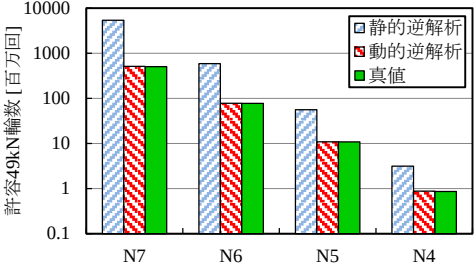
得られた結果を図-3 に示す。なお、Case1 および Case2 の算定結果は同様の傾向を示していたことから、ここでは Case2 の結果のみを示している。図より、静的逆解析で得られた弾性係数を用いて、許容 49kN 輪数を算定すると安全側の評価になる傾向があることが確認できる。静

表-3 逆解析で得られた推定値の変動係数[%]

断面	逆解析の方法	Case1				Case2			
		1層	2層	3層	4層	1層	2層	3層	4層
N7	動的	0.60	0.39	0.18	0.16	0.79	1.76	1.00	0.14
	静的	1.91	2.88	4.20	0.81	2.83	5.87	6.71	1.03
N6	動的	0.79	0.42	0.10	0.15	1.01	2.24	0.79	0.09
	静的	4.34	4.47	5.36	0.98	8.91	14.38	9.29	1.39
N5	動的	0.25	0.26	0.09	0.18	2.54	3.80	9.29	1.39
	静的	8.19	5.15	5.72	0.94	17.30	18.73	6.38	1.10
N4	動的	14.28	4.13	0.46	0.23	21.71	7.84	0.84	0.35
	静的	46.88	7.78	10.45	0.78	34.77	8.08	10.93	0.72



(a)アスファルト混合物層のひび割れに対する許容 49kN 輪数



(b)路床の永久変形に対する許容 49kN 輪数

図-3 許容 49kN 輪数 (Case2)

動的逆解析による推定値を用いた結果と動的逆解析による推定値を用いた結果の比をとると、アスファルト混合物層のひび割れに対する許容 49kN 輪数は、N7 断面で 2.4、N5 断面で 4.5 となり、路床の永久変形に対する許容 49kN 輪数は、N7 断面で 10.5、N5 断面で 5.1 となっており、後者の評価への影響が大きいといえる。また、層厚が厚いほど許容 49kN 輪数の評価に与える影響が大きくなる傾向にある。

4. まとめ

静的逆解析および動的逆解析の推定値を用いて、許容 49kN 輪数を算定した結果、静的逆解析で得られた弾性係数を用いて許容 49kN 輪数を算定すると安全側の評価になる傾向があることが確認された。なお、式(1)からわかる通り、たわみと弾性係数との関係によっては、本検討結果と異なる場合も想定される。

参考文献

- 1) 川名太, 久保和幸, 竹内康, 松井邦人 : FWD 試験データの分析の高度化に関する提案, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.69, No.2, pp.22~31, 2013.
- 2) 舗装教育小委員会 : 舗装工学の基礎, 舗装工学ライブラリー7, ISBN978-4-8106-0681-2, 2014.