

(V-34) FWD 試験データにおける逆解析手法の比較・検討

東京電機大学 学生員 渡辺規明

東京電機大学 正会員 松井邦人

1. はじめに

FWD (Falling Weight Deflectometer) 試験により得られる測定たわみから、舗装各層の弾性係数の推定が行われている。推定方法として、確定論的な理論であるガウス・ニュートン法があるが、必ずしも確立されていない。これは、測定たわみの変動に対して層弾性係数が大きく変化するために、測定精度の問題が原因になっていると考えられる。そこで本研究では、パラメータの先験的情報を考慮した、確率論的手法であるベイズ法を用いて逆解析を行った。

2. 逆解析手法

評価関数を次式のようにする。

$$J = \frac{1}{2} \{u - z(X)\}^T R^{-1} \{u - z(X)\} + \frac{1}{2} \alpha (X - \bar{X})^T C^{-1} (X - \bar{X}) \dots\dots (1)$$

$u, (N)$: 測定たわみ $z(X), (N)$: 解析たわみ

$X, (M)$: パラメータ (層弾性係数)

$\bar{X}, (M)$: 層弾性係数の事前情報

$R, (N \times N)$: 測定たわみの共分散マトリックス

$C, (M \times M)$: 層弾性係数の共分散マトリックス

α : 事前情報と事後情報との相対的な信頼性を評価するパラメータ

(i) ガウス・ニュートン法

(1) 式において、 $\alpha=0$ とすることにより、2項目を無視する。すなわち、層弾性係数の事前情報を全く考慮せず、測定値と解析値の差の二乗和を最小とするパラメータを求める。

(ii) ベイズ法

(1) 式において、 $\alpha=1$ とした式がこの手法の目的関数である。ガウス・ニュートン法で解析した場合に、工学的に解釈できない値が得られる場合がある。そこで、層弾性係数の事前情報を考慮することにより、そのような値に収束するのを防ごうとする関数である。

(iii) 拡張ベイズ法

ベイズ法と同じ目的の関数であり、異なる点は係数 α を変化させることにより、(1) 式の1項目と2項目のバランスをとりながら、解析を行う。

3. 数値シミュレーション

ベイズ法の妥当性を検証するために、数値シミュレーションを行った。図-1に示す舗装構造モデルに対して、載荷板半径を150mm、たわみのセンサー数10point、たわみの測定位置を0、30、600、900、1200、1500、1800、2100、2400、2700mmとした。このような条件に対し、既存のソフト (BISAR) を用

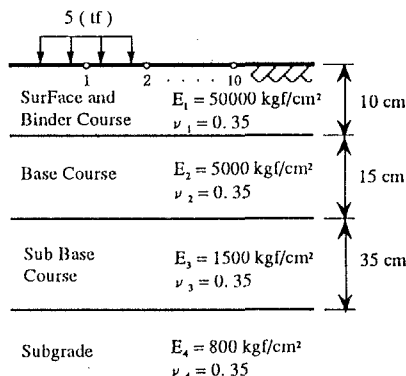
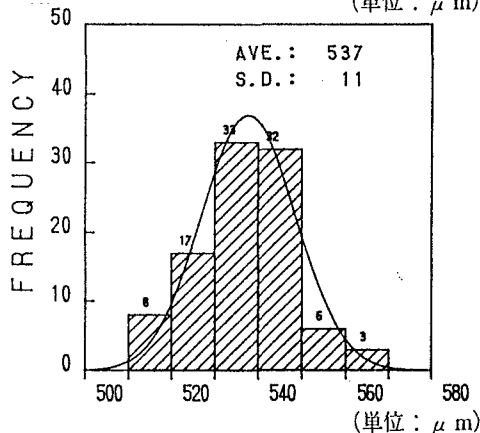


図-1 舗装構成

表-1 BISARによるたわみデータ

測定位置 たわみデータ	0	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700
	535.8	381.2	258.8	189.1	145.9	117.3	97.46	82.9	72.1	63.8

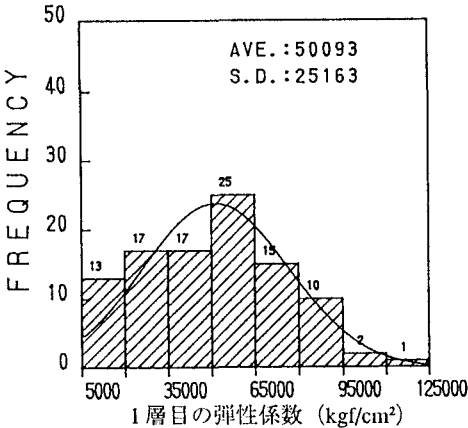
(単位: μm)



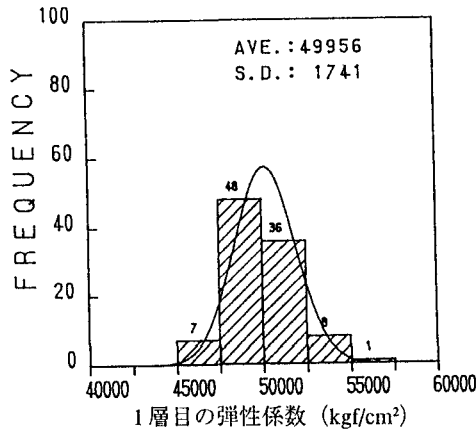
(単位: μm)

図-2 測点0でのたわみデータの分布

いて、たわみ（表－1）を求めた。測定たわみの変動係数が2%と言われていることから、BISARで求めた値を平均値とし、正規乱数を発生させて100組のたわみデータを作成した。これらのデータが正規分布であることを図－2に示す。ベイズ法で解析する場合、層弾性係数の変動係数を10%とし、層弾性係数の事前情報は、図－1に示した真値を用いた。次に100組のデータに対して、ガウス・ニュートン法、ベイズ法で解析した結果（1層目の弾性係数）を図－3、図－4に示す。



図－3 ガウス・ニュートン法による解析結果

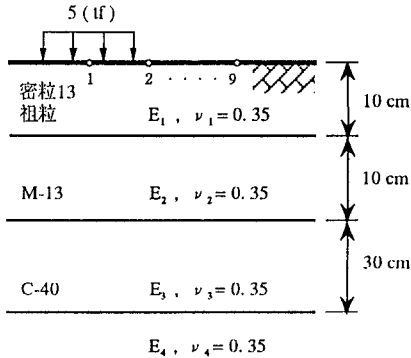


図－4 ベイズ法による解析結果

4. 実測データを用いた解析

図－5に示す舗装構造においてFWD試験により測定されたデータを、測定値の変動係数2%、層弾性係数の変動係数10%と仮定し、それぞれの手法で逆解析を行った。その結果を表－2に示す。ここに示したベイズ法による解析結果は、move limitの有無に関わらず層弾性係数は同じであるが、他のデータでは、move limitが大きく影響するケースがある。ガウス・ニュー

トン法による結果を見ると、工学的に解釈できないような値に収束した。拡張ベイズ法による結果については、ガウス・ニュートン法の結果において、1層目と2層目の弾性係数の値が逆転している現象を、改善することはできたが、1層目の弾性係数が非常に大きな値を示した。しかし、図－6に示したそれぞれの手法による解析たわみと測定たわみについて比較をすると、ガウス・ニュートン法より拡張ベイズ法による解析値の方が、測定たわみに近い値である事がわかる。

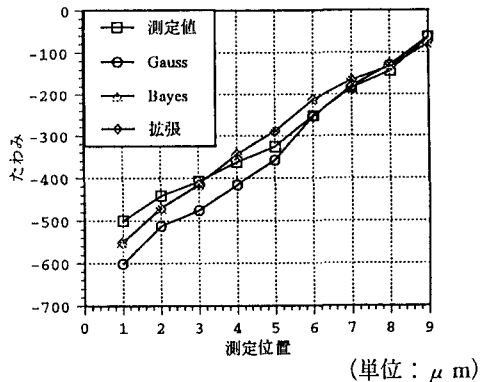


図－5 舗装構成

表－2 各手法による解析結果

	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄
Gauss-Newton 法	9665	205724	310	837
Bayes 法	(movelimit 無)	71707	6802	1473
	(movelimit 有)	71667	6796	1473
拡張Bayes 法	126063	11519	919	729

(単位: kgf/cm²)



図－6 測定たわみと各手法による解析たわみ

5. まとめ

ガウス・ニュートン法より、拡張ベイズ法を用いて解析した結果が、測定値に近い値を示しているが、決して妥当な値だとは言えない。これは、層厚等のモデル誤差が大きく影響していると考えられる。