

V-36 FWD 試験データを用いた静的逆解析手法の比較

東京電機大学 学生会員 西山 大三

東京電機大学 フェロー会員 松井 邦人

1. はじめに

舗装の構造的健全性を評価するため、FWD試験を行い、測定された表面たわみデータを用いて逆解析し、層弾性係数を求めることが行われている。数値シミュレーションでは、アルゴリズムに関わらずよい結果が得られるが、実測データを用いると種々の誤差の影響を受けアルゴリズムにより結果が異なることが知られている。本研究では、逆解析手法として3種類の手法、1) ガウスニュートン法、2) 一般化逆行列法、3) ネルダー・ミード法、を用いている。用いた実測データは、第1回 FWD 共通試験で測定されたデータである。それぞれのアルゴリズムについて、測定データの精度の影響を調べるため、 n ($n=2,5,10$)回測定たわみデータの平均値を用いて逆解析を行っている。

2. 静的逆解析

舗装の構造評価を行うにあたって、その舗装の弾性係数を知ることが必要となる。そこでこの FWD 試験によって得られたたわみデータから、舗装の各層の弾性係数を数値演算によって求める必要性が生じてくる。FWD 試験データは時系列データであり、動的逆解析をすることで精度の高い結果を求められる。しかしながら、動的逆解析は時間と手間のかかるものであり効率が悪い。そこで、より簡潔に結果を求める方法として、荷重のピーク値とたわみ量のピーク値を用いて解析する静的逆解析がある。数値演算の手法として、今日まで様々な提案があり、その代表にガウスニュートン法、カルマンフィルタ、拡張ベイズ法、一般化逆行列法などがある。本研究では、ガウスニュートン法と一般化逆行列法とネルダーミード法（シンプレックス法）の3手法の比較検討を行った。

本研究で用いた実測データは、平成3年度に行われた第1回 FWD 共通試験データの609工区の50

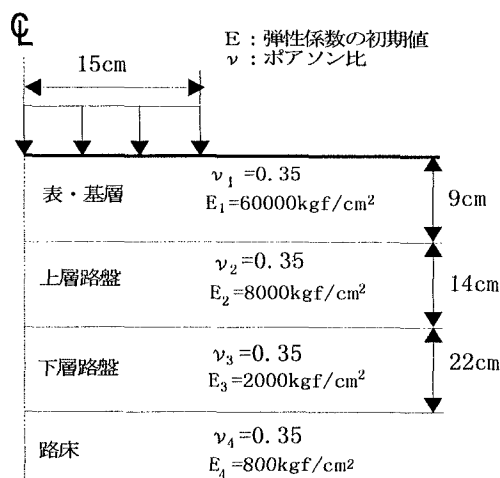


図-1 4層構造モデル(609 工区)

回計測データを用いた。（図-1 参照）

3. 解析手法

弾性係数を同定するような問題の基本的な考え方は、測定値と解析値が一致パラメータの値を求めることである。各層の弾性係数を $\mathbf{E} = \{E_j\}, (j=1, \dots, m)$ 、解析たわみを $\mathbf{z}(\mathbf{E}) = \{z_i(\mathbf{E})\}$ 、それと対応する測定たわみを、 $\mathbf{u} = \{u_i\}, (i=1, \dots, n)$ とする。ここに、 m, n はそれぞれの層数、測点数である。測定値と解析値の間には次のような関係がある。

$$\mathbf{u} = \mathbf{z}(\mathbf{E}) + \boldsymbol{\varepsilon}_u \quad (1)$$

ここに、 $\boldsymbol{\varepsilon}_u = \{\varepsilon_{ij}\}$ は測定誤差ベクトルである。解析たわみを測定たわみに近づけるための微小変化量を $d\mathbf{E}$ とすると次式が成り立つ。

$$\mathbf{z}(\mathbf{E} + d\mathbf{E}) \cong \mathbf{z}(\mathbf{E}) + \mathbf{A}d\mathbf{E} \quad (2)$$

キーワード：FWD 試験データ、静的逆解析、ガウスニュートン法、一般化逆行列法、ネルダーミード法
〒350-03 埼玉県比企郡鳩山町大字石坂 TEL 0492-96-5731 (内線 2734)

ここに、 $A = \left[\frac{\partial z}{\partial E} \right]$ は $m \times n$ のマトリックスである。

式(2)の右辺が u と一致するように E を定めたい。
すなわち、次式を解くことになる。

$$AdE = u - z \quad (3)$$

この式は、 $m \times n$ の連立方程式である。 A を特異値分解すると

$$A = UDV^T \quad (4)$$

となる。右肩の T は転置行列を意味している。式(3)の解は式(4)の関係を用いて、

$$dE = VD^{-1}U^T(u - z) \quad (5)$$

と書くことができる。

4. 解析結果

図-2は各手法の典型的な収束過程の一例である。縦軸は評価関数の値、横軸は繰り返し計算回数である。この例題では、繰り返し計算回数は、ガウスニュートン法18回、一般化逆行列法25回、ネルダー・ミード法202回となっている。しかし、順解析を行う回数で比較すると、それぞれ90回、125回、206回となる。

図-3はそれぞれの手法について、それぞれのたわみデータを用いて逆解析した場合、および2, 5, 10回測定を平均したたわみで逆解析した場合について結果の変動係数を示している。改良する余地はあると思われるが、ネルダー・ミード法の結果のばらつきは大きい。予測されることであるが、測定回数が多いほど、平均値を用いた逆解析結果ののばらつきは小さい。

5. まとめ

本研究では、実測データを用いて3種類の方法により逆解析を行い、結果の精度について検討した。ネルダー・ミード法は微係数を計算する必要がないというメリットがあるが、順解析の回数で比較しても計算回数が多くなり、また逆解析結果のばらつきも大きくなるようである。ネルダー・ミード法の改良や、その他の方法との比較も行い、より信頼できる方法を開発することが重要である。

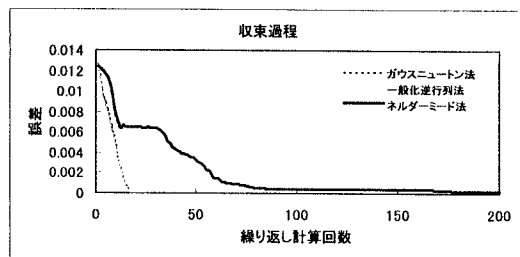


図-2 収束過程

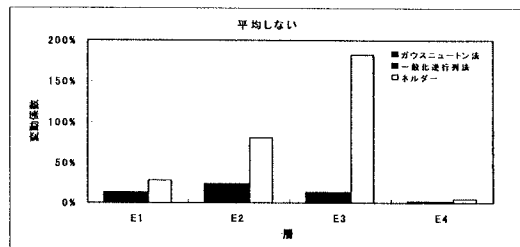


図-3-A 変動係数の比較（平均しない）

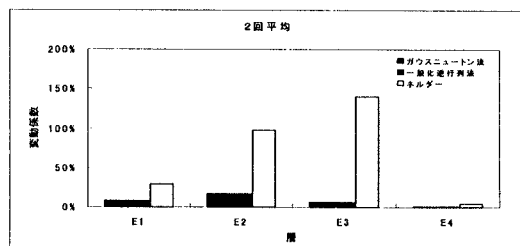


図-3-B 変動係数の比較（2回平均）

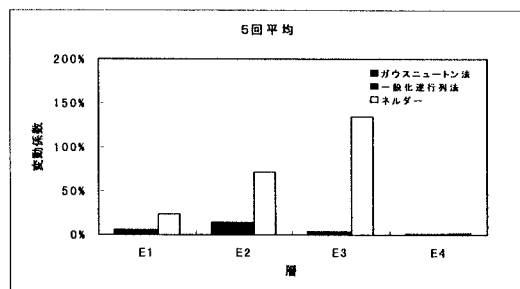


図-3-C 変動係数の比較（5回平均）

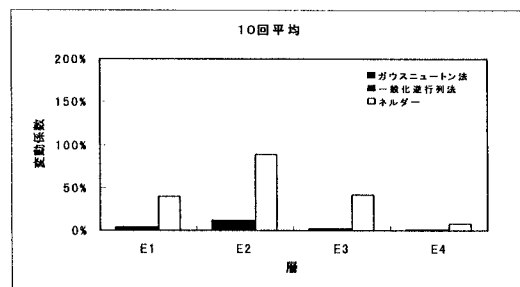


図-3-D 変動係数の比較（10回平均）