

アスファルト舗装の表面たわみと内部変位を用いた動的および静的 FEM 解析

中央大学 大学院 理工学研究科 学生会員 ○金井 利浩
 中央大学 理工学部 正会員 董 勤喜
 東京電機大学 理工学部 フェロー会員 松井 邦人
 中央大学 理工学部 フェロー会員 姫野 賢治

1. はじめに

舗装の構造解析手法には、時系列データをそのまま利用する動的法とピーク値のみを用いる静的法がある。著者らは、動的な FEM と静的な多層弾性理論に基づく解析結果を比較し、両手法の適用性について検討してきた^{1), 2)}。本研究では、それと同じデータを用いて、新たに開発した静的 FEM プログラムによる解析を行い、動的 FEM 解析結果との対比を試みたので、その概要について報告する。

2. 解析に用いたデータ

2-1 データソースと舗装断面

解析には、TRB がホームページで公開している 4 つのサイトにおける実測データのうち、SITE 3¹⁾（テキサス州，State Highway 281）のデータを用いた。当該道路の舗装断面は図-1 に示すとおりである。

2-2 データの概要

FWD 試験は、4 つの荷重条件（27, 38, 52, 67 kN）につき各 3 回ずつ行われている。たわみセンサーは、載荷板中心から、0, 305, 610, 915, 1220, 1525mm の 6 箇所に設置されている。以下、たわみ量 D の添え字はこのセンサー位置を示す。

また、FWD 試験時における舗装内部の鉛直方向変位が Multi-Depth Deflectometer (MDD) により記録されている。MDD の埋設位置は、載荷板中心から水平方向 220mm、舗装表面からの深さ 95mm (MDD-1, アスコン層), 314mm (MDD-2, 粒状路盤), 594mm (MDD-3, 路床) の 3 箇所である。図-2 と図-3 はそれぞれ 27 kN 載荷時の FWD および MDD の実測データである。図-3 に示すとおり、MDD データは載荷荷重と時間的にリンクしていないため、 D_0 および D_{305} のピーク時間と MDD センサーの水平方向位置 (220mm) から MDD データがピークを迎える時間を推定し、載荷荷重との時間的な関連付けを行った。

3. 動的逆解析による弾性係数の推定

本検討で用いた FEM プログラムは、2次元軸対称モデルの DBALM (動的法: 松井) と 2D-SFEM (静的法: 董) である。両プログラムにより、FWD と MDD のそれぞれのデータについて逆解析を行い、各層の弾性係数 (E_1 : アスコン層, E_2 : 路盤, E_3 : 路床) を推定した。さらに、解析結果の適用性を確認するため、FWD データから推定した弾性係数を用いて MDD センサー位置における内部変位を、逆に MDD データによる推定

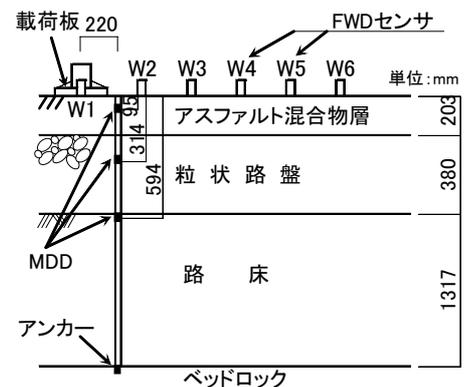


図-1 舗装断面

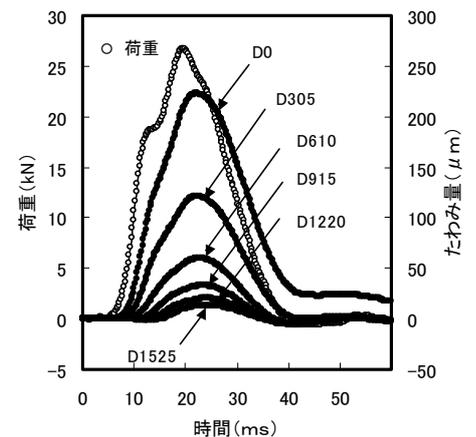


図-2 FWD たわみ(27kN)

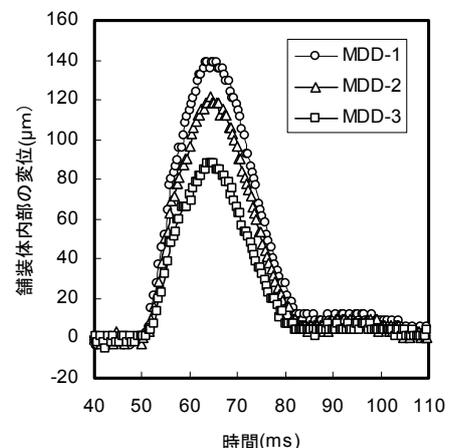


図-3 MDD 内部変位(27kN)

キーワード アスファルト舗装, 逆解析, FWD, MDD, FEM, 多層弾性理論

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL・FAX 03-3817-1796

弾性係数からはFWD センサー位置のたわみ量を順解析によって求め、実測値と比較した。

4. 解析結果と結論

動的および静的FEMによる逆解析を図-4に示す。4つの荷重レベルの逆解析結果に大差がないことから、ここでは全荷重レベルの平均値を示している。なお、凡例は、[逆解析に用いたデータ逆解析プログラム]を表している。また、図中には、参考のために多層弾性プログラム(BALM99)による結果も併記している²⁾。

4-1 FWD たわみよる解析

図-4のFWD たわみを用いた逆解析結果に注目すると、動的および静的FEMともにアスコン層と路盤については概ね多層弾性の結果と合致しているものの、路床の弾性係数については動的FEMの値が他の方法に比べ若干大きくなっている。図-5と図-6は、それぞれ動的および静的FEMにより得られた弾性係数等を用いて順解析したMDDセンサー位置の内部変位と、実測値を比較したものである。両図より計算値と実測値は概ね一致しているが、動的FEMによる路床の計算値は、当該層の弾性係数の影響により実測値に比べやや小さくなっていることがわかる(MDD-3)。

4-2 MDD データによる解析

一方、図-4のMDDデータを用いた動的および静的FEMの逆解析結果に注目すると、路盤E₂、路床E₃に大差はないものの、静的FEMによるE₁は動的FEMのおよそ1/2と著しく小さくなっている。MDDデータによる逆解析結果に基づきFWDセンサー位置におけるたわみを計算した結果の一例(载荷荷重:67kN)を図-7に示す。これを見ると、305mmよりも遠くのセンサー位置では動的および静的FEMとともに計算値と実測値はよく一致しているが、静的FEMにより推定した载荷板中心のD₀は、動的FEMによる計算値ならびに実測値よりもかなり大きな値を示している。これは、前述のとおり静的FEMにおけるE₁が著しく小さいことに起因しているものと推察される。

4-3 結論

以上のように、動的と静的のFEM解析結果は必ずしも一致しないが、動的FEMによれば、たわみ量D₀を含まない数点の時系列データ変位からでも十分な精度で構造解析が可能である点は特筆すべきであろう。実務においては、利用可能なデータの種類や解析に要する時間等を勘案し、構造解析手法を適宜選択することが望ましいと考える。

参考文献：1) 金井利浩，横田慎也，松井邦人：動的FEM解析によるアスファルト舗装の応答に関する一検討，No. 09001，第25回日本道路会議論文集，2003年11月，2) 横田慎也，金井利浩，松井邦人：

多層弾性解析によるアスファルト舗装の応答に関する一検討，No. 09002，第25回日本道路会議論文集，2003年11月

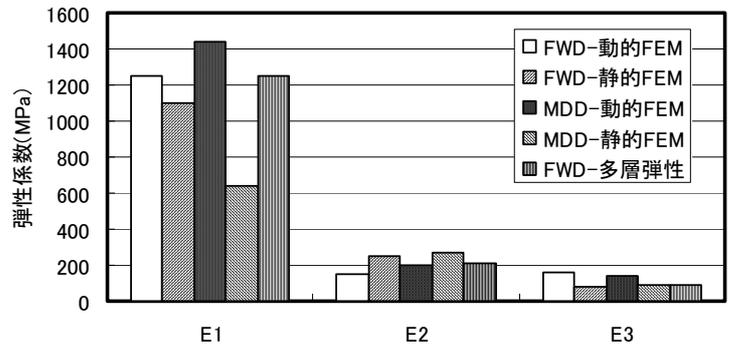


図-4 逆解析結果

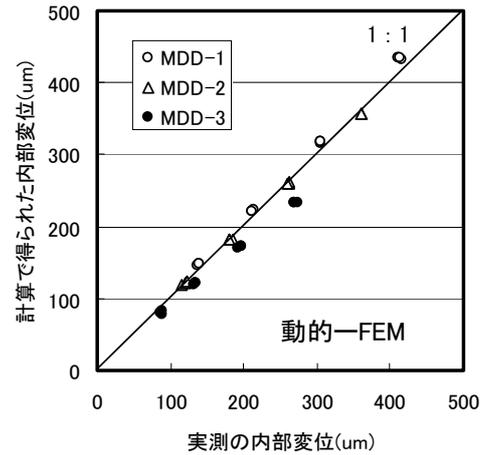


図-5 内部変位の比較（動的FEM）

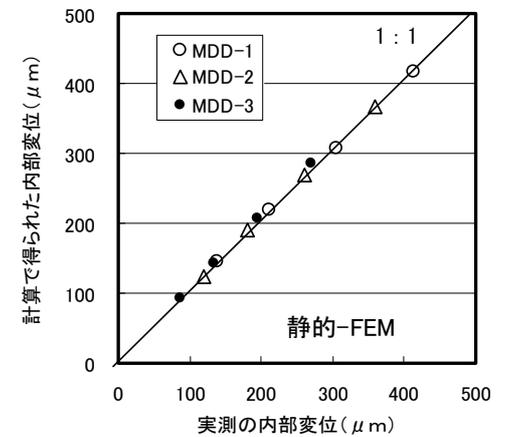


図-6 内部変位の比較（静的FEM）

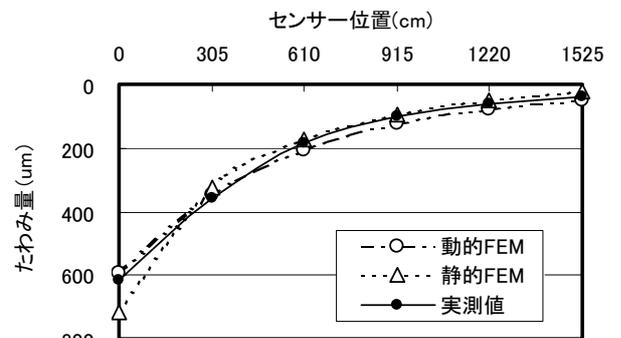


図-7 表面たわみの比較（静的・動的FEM）