

小型 FWD の開発と評価に関する研究

道路研究室 Nyamaa Ganbaa
指導教官 丸山暉彦

1. はじめに

道路舗装における路床、路盤の強度管理や支持力評価には、現場 CBR 試験や平板載荷試験が実施されている。これらの試験に反力用の重機が必要であり、測定に多くの時間を要するといった欠点がある。

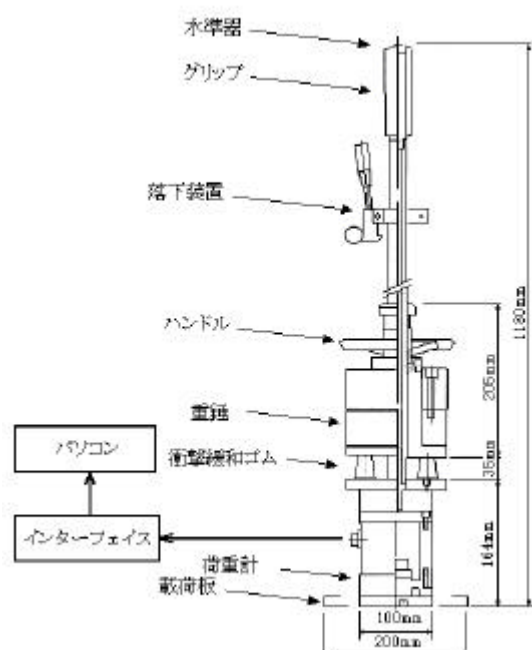


図-1 小型 FWD の概要

このようななか、最近では路床、路盤の支持力を簡便にかつ経済的に管理することを目的に小型 FWD が開発された(図-1 参照)。舗装用の FWD は重錘落下により 5t 以上の衝撃荷重が得られる大型なものであるが、小型 FWD は持ち運びが容易で迅速な測定が可能であり、短時間で多数点の測定が可能である。

小型 FWD は変位計が載荷点直下にしかなく、舗装用 FWD とは異なる方法で路床、路盤を評価する必要がある。試験装置は多く開発されているものの、その試験方法および測定データの取扱い方法についてはいまだ検討段階にあるのが現況である。

そこで本研究では、小型 FWD の測定によって得られる一組の荷重とたわみデータを

用いて路盤、路床を合理的に評価することを検討した。本研究の目的は、小型 FWD による測定データから路床、路盤の支持力性能を推定し、基準値を満たしているかどうかを判断する、評価方法を開発することである。

2. 試験について

小型 FWD による測定データを収集する目的で、室内に構築した土槽において試験を繰返し行った。小型 FWD 測定による評価の妥当性を客観的に評価する目的で、平板載荷試験を同時に実施した。試験土槽の概要を図-2 に示す。

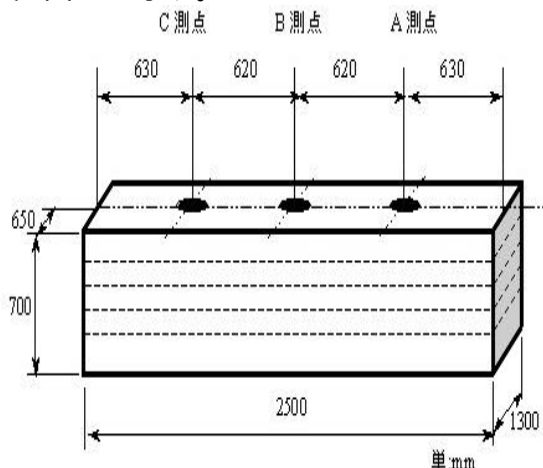


図-2 試験土槽

まず、路床材を30cm、40cm及び50cmなるように構築し、それぞれの面において A、B 及び C 測点で小型 FWD 試験、並びに平板載荷試験を実施した。次に、路床材を20cm 残し、その上に路盤厚 25cm 及び 35cm を構築しそれぞれの路盤厚に対し含水比を5.5%、7.2%及び8.0%に変化させた場合について試験を実施した。

3. 動的逆解析について

小型 FWD による測定では、測定表面に加える荷重と載荷板中央の変位のみがそれぞれ得られるが、これら一組のデータから路床、路盤の個々の強度を推定するため、ここでは動的な波形データを使用し

た FEM 解析によってそれぞれの強度の推定を試みた。試験地盤を路盤と路床の 2 層系弾性体としてモデル化し、小型 FWD による荷重波形データを与えたとき、得られる変位の波形が実測値と近似するようにモデルの弾性係数を選定して、路床と路盤のそれぞれの強度を推定した。図-3 には、汎用ソフトである NASTRAN による 2 層系モデルを、図-4 には荷重波形の一例を示す。

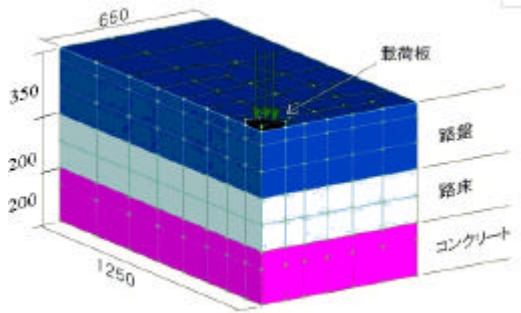


図-3 軸対象 3 次元 FEM モデル

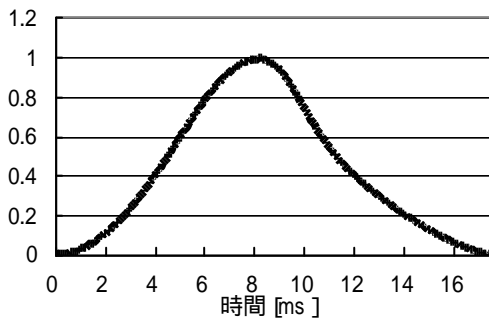


図-4 荷重波形

小型 FWD 測定で得られる荷重の最大値を載荷板の面積で除した値を持つ圧力が、この波形に沿った強制振動をモデルに対して与える。また、垂直外力とし重力を与え慣性力を考慮した。モデルにおいて、路盤と路床の単位堆積重量は、測定時に行った砂置換法による密度試験の結果を用いた。

動的逆解析では、地盤の減衰係数及び 1 次モードの周波数を与えなければならない。そのため、逆解析による各層の弾性係数の推定が困難であった。そこで、小型 FWD 測定による載荷板直下のたわみ波形に着目し、それと動的順解析により得られる波形を一致させることにした。まず、ある測定による荷重波形を与えた場合に弾性係数を推定し、

そのモデルに対して異なるレベルの荷重を加えたとき、測定結果とほぼ一致するモデルを決定し、弾性係数を求めた。図-5 には、測定結果と解析結果の一例を示す。図-5 では、落下高さ 30cm 時の測定結果に対して動的逆解析を行った後、落下高さ 60cm 時の測定荷重を加えたときの FEM 解析結果と測定結果を比較している。両者を比較してみると、各時刻におけるたわみ量がほぼ一致しており、本モデルの再現性が良いことが分かる。

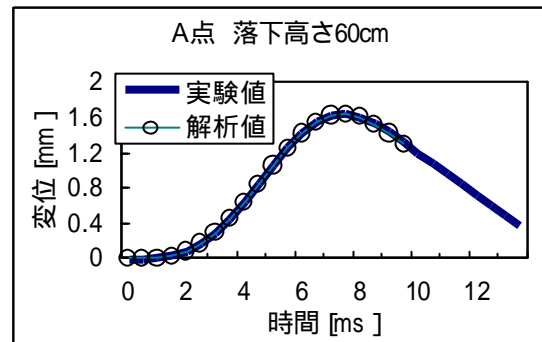
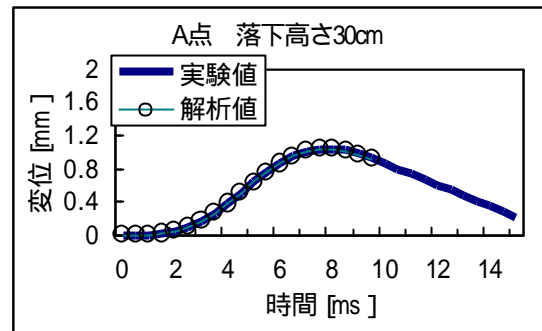


図-5 異なる荷重レベルでのたわみ波形比較

4. 動的解析結果への検討

以上のようにして求めた各層の弾性係数の妥当性について検討を行った。以上では、異なる荷重レベルでのモデルの再現性について検討したが、得られた弾性係数が地盤の動的特性の変化に左右されることから、平板載荷試験の結果により客観的に評価した。その結果、動的解析により得られた FEM モデルに対して、平板載荷試験と同じ静的荷重を与えたときに、得られた変位が実験結果と大きな差が無いことを確認できた(図-6 参照)。多くの実験についてこのような FEM 解析を行って実験結果と比較することにより動的解析結果が信頼できるものであることが確認された。

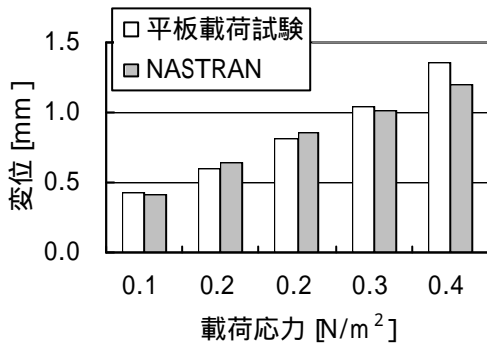


図-6 平板載荷試験結果との比較

このように、たわみ波形に着目した動的 FEM 解析により、載荷板直下のみの時系列データを用いて路盤と路床から成る 2 層系の弾性係数を推定することが可能であることが分かった。しかし、小型 FWD の最大の特徴である迅速な測定を行う際、測定データの逆解析などの煩雑な作業が望ましくない。そこで、小型 FWD 測定による即座の評価方法を考案する必要がある。

5. たわみ基準について

そこで本研究では、小型 FWD によって測定される変位のピーク値 (d_0) から、その路盤が所定の基準を満足しているかどうかを判断するたわみ基準を策定し、提案した。コンクリート舗装要綱には、路盤表面の支持力が $K = 196\text{MN/m}^3$ 以上必要という基準がある。この基準を満足する路盤を小型 FWD 測定結果から評価するものである。まず、基準強度を満足する路床強度 (20Mpa) において各路盤厚に対する支持力が $K = 196\text{MN/m}^3$ となる舗装構造の FEM モデルを作成した。モデルの寸法や物理特性は、動的逆解析に用いたものとした。平板載荷試験による静的荷重を加えて、荷重とたわみ量の比率により支持力係数を算出し、路盤の弾性係数を変化させて所定の支持力が得られるようなモデルを作成した。そのモデルに対して小型 FWD の荷重波形を与えたときの変位を動的順解析により求めて、そのピーク値を基準値とした。そして、種々の荷重レベルに対する変位基準をまとめて評価基準のノモグラフを作成した (図-7、8 参照)。小型 FWD 測定では、荷重とたわみの関係が載荷板直径に依存するため、直径 100mm 及び 200mm を用いた場合の計算を

行ったものである。また、路盤厚による、荷重-たわみ関係の影響を考慮し、設計例で多く見られる路盤厚である 25cm、35cm について基準値を算出した。

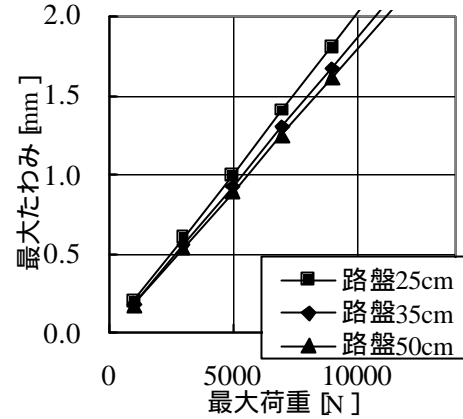


図-7 たわみ基準 (載荷板直径 200mm)

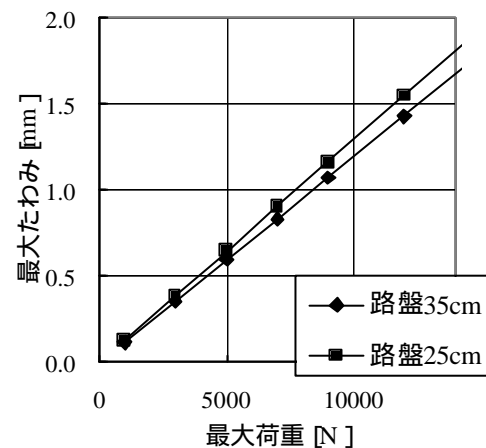


図-8 たわみ基準 (載荷板直径 100mm)

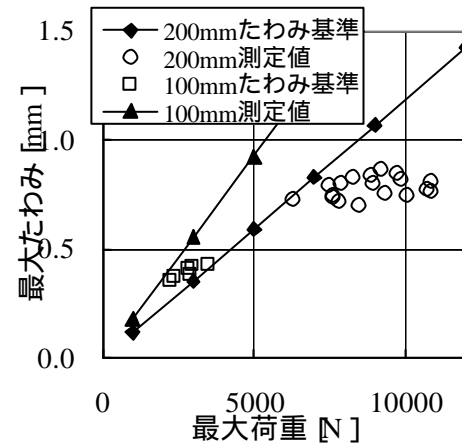


図-9 測定結果

図-9 には、土槽で実施した測定結果をプロットした。この図から、ほとんどの測点において地盤支持力係数が 196MN/m^3 よりも大きい値であることが言える。平板載荷試験結果と照らし合わせた結果、同じ傾向が得られたため、本研究で得られたたわみ基準は妥当なものであると考えられる。

6. 小型 FWD による路盤の評価方法の提案

以上の検討に基づいて、たわみ基準によって概略の評価を行い、必要に応じて FEM 逆解析を行うことによって路床、路盤を合理的に評価出来る方法を提案した。それは、図-10 のフローチャートに示すように、小型 FWD 測定によって得られる荷重とたわみの最大値をたわみ基準と比較し、基準より大きなたわみが得られた場合に動的逆解析により弾性係数を推定し、問題の層を特定することが出来る。

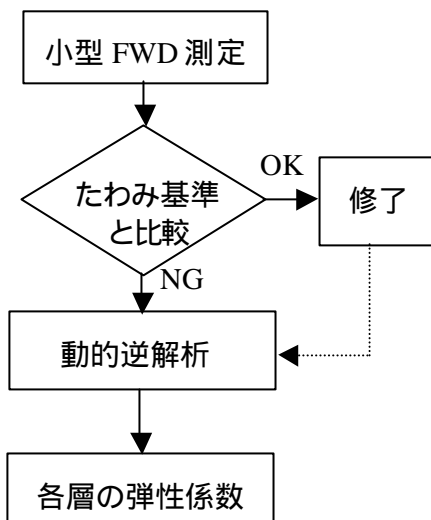


図-10 小型 FWD による剛性評価方法

7. 結論

本研究では、小型 FWD による路盤の評価方法について検討を行った結果、次のような結論を得た。

- ◆ 小型 FWD の出力から路盤、路床を合理的に評価出来る方法を提案した
- ◆ たわみ波形に着目した動的逆解析により路盤、路床の弾性係数を推定出来る
- ◆ これらを併せて、路盤及び路床の強度管理方法を提案した

8. 今後の課題

本研究では、室内に構築した土槽での測定データを用いて検討を行った。小型 FWD 測定では、測定対象地盤の種類や重錘質量、落下高さによって荷重-たわみ関係が変動するものである。今後は、あらゆる条件の基で試験を行い荷重-たわみ関係を把握し、それを考慮したたわみ基準を策定する必要があると考えられる。

また、FEM 解析では地盤を弾性体として仮定したが、今後は塑性変形を考慮した解析により、たわみ基準の精度を向上させる必要であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 阿部長門、関根悦夫、鴨 智彦、前原弘宣、FWD 測定値に基づく解析方法の違いが弾性係数に与える影響、土木学会第 54 回年次学術講演会、pp.376-377、1999.
- 2) 佐藤研一他、FWD を用いた道路舗装の支持力評価、土木学会舗装工学論文集第 3 巻、pp.67-72、1998.
- 3) 関根悦夫他：小型 FWD に関する衝撃解析、土木学会第 56 回年次学術講演会、pp.114-115、2001.