

小型 FWD 試験を用いた簡易舗装の点検手法に関する研究

早稲田大学 学生会員 ○小林 尚登

早稲田大学 フェロー会員 赤木 寛一

1. 研究の目的

現在、高速自動車道などの高規格道路の構造評価手法として、FWD 試験が広く用いられている。FWD 試験とは重錘の落下によって発生させた衝撃荷重を舗装表面に載荷し、その応答変位を複数点で測定する試験である¹⁾。この試験結果を用いて舗装各層の弾性係数や路床 CBR、残存 T_a や疲労破壊輪数を推定することで、舗装の非破壊点検を行うことができる。ところが、FWD 試験機は取得費用や管理費用が高額であるため、規模の小さい市町村道や簡易舗装に適用することが困難である。当研究は FWD を簡略化した小型 FWD(以下 P-FWD)と、従来使用されてきた FWD の点検手法と比較しながら、旧 L~A 交通を対象とする安価な舗装診断手法の確立を目的としている。

2. 実験手法

とある有料道路にて FWD と P-FWD(重錘質量 15kg, 落下高さ 50cm, 載荷板半径 5cm)を用いた現地試験と、FWD 載荷地点のコアの抜き取りによるアスファルト混合物層構造(以下 AS 層)の観察およびコアを用いたレジリエントモジュラス試験(以下 M_r 試験)による弾性係数の測定を行った²⁾。各種 FWD 試験は 100m 毎に設置されたキロポスト周辺にて、**図 1** に示す位置で行うことを標準とした。また M_r 試験は 6 つのコアを整形し、直径 100mm, 厚さ 45mm の供試体を作成して行った。供試体は 0.4km, 2.4km, 3.7km, 5.6km, 6.2km, 7.3km 地点のコアを使用した。温度条件は 5, 15, 25, 35°C で、載荷時間は 0.1, 1.0, 10.0 sec とした。当研究では、弾性係数を① FWD を用いた多層弾性理論(MLES; Multi-Layered Elastic Systems)の逆解析と、②実務で使用される FWD 変位量を用いた簡便な推定式(後述)、③ M_r 試験(Poisson 比 0.35 仮定)による測定の 3 種類で算出し考察を行った³⁾。

3. FWD 試験の結果

図 2 に両 FWD 試験の変位量を示した。変位量の全体的な傾向はほぼ同様であった。1.7km 地点の P-FWD 変位量が、FWD のそれに対して相対的に小さい理由は、標準試験位置の表面ひび割れを避けるため、輪荷重作用頻度が少ない中央線寄りの位置で試験を行ったためであると考えられる。また 7.3km の P-FWD 変位量は FWD の変位量と比較して、相対的に大きいことが特徴的であった。

4. M_r 試験の結果

図 3 に 6 測点の試験結果を平均した値を示す。試験温度が低いほど、また載荷時間が短いほど弾性係数 E_{as} (MPa) が大きいことが分かった。 M_r 試験の載荷時間 T (sec) は交通輪荷重や FWD 荷重の作用時間との関連があると考えられる。本試験の結果を活用するために、2 つの係数 α , β を用いて $E_{as} = \alpha T^\beta$ と表されると仮定する。各係数は試験温度 K (°C) の一次関数として表され、 T, K の値によって E_{as} を決定することができる。以降の考察では各測点の AS 層温度条件の内挿(FWD; 23°C 程度, P-FWD; 12°C 程度)と載荷時間(FWD; 0.030sec, P-FWD; 0.016sec)の外挿によって算出した弾性係数を用いる。FWD 試験時の弾性係数は 6000~9500MPa 程度、P-FWD 試験時の弾性係数は 10500~14000MPa 程度であった。

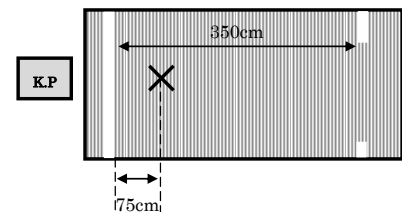


図 1 FWD 試験の載荷位置

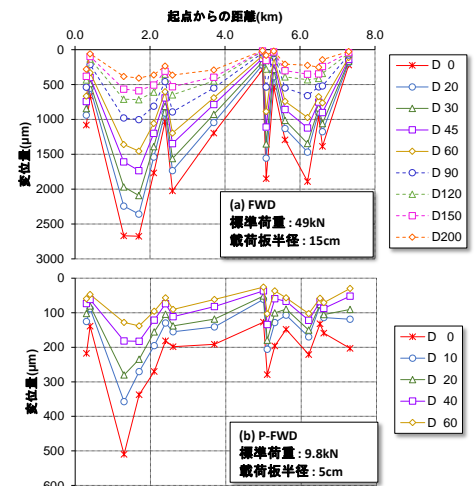


図 2 FWD, P-FWD 試験結果

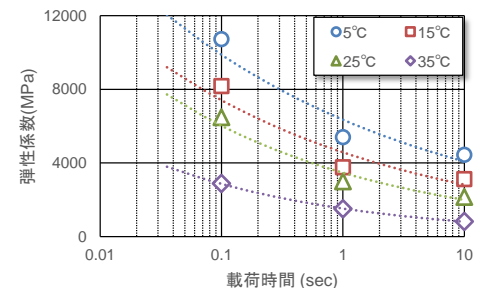


図 3 M_r 試験結果(全測点平均値)

キーワード アスファルト舗装, FWD, 小型 FWD, レジリエントモジュラス, 多層弾性理論

連絡先 〒160-0017 東京都新宿区大久保 3-4-1 58 号館 205 号室

TEL.03-5286-3405 E-mail : k.naoto@moegi.waseda.jp

5. 考察

図4にAS層弾性係数, 路床弾性係数のMLES逆解析結果とたわみ量による推定結果をそれぞれ実線と破線で示した。(a)はFWD試験を, (b)はP-FWD試験を用いた解析結果である。またMr試験結果を温度と载荷時間について換算した弾性係数を同図中に示す。

(1) 多層弾性理論による逆解析

MLES逆解析の解析条件は次の通りである。①舗装はAS層, 路盤, 路床の三層構造とする。②AS層の厚さは抜取りコアの高さを直接測定して決定する。③路盤厚は50cm, 路床厚は半無限と仮定する。④

Poisson比は上部構造から順に, 0.35, 0.30, 0.30とする。FWD試験の結果を用いた場合と比べて, 小型FWD試験で算出された弾性係数はAS層で小さく, 路床では大きく算出された。この傾向は舗装診断研究会による報告と一致した⁵⁾。これは構造計算上必要な変位に対して表面波による変位が卓越したため, MLES逆解析による弾性係数が小さく算出されたものだと考えられる。変位量の25%が構造計算に有効な変位であると仮定すると, Mr試験(P-FWD試験時条件)の測定結果に近似されることが分かった。

(2) たわみ量による弾性係数の推定

FWDによる点検で用いられる簡便な指標として, たわみ量差 $D_0 - D_{20}$ によるAS層弾性係数推定式や, D_{150} による路床CBRの推定式がある(式1,2)。まずFWD試験結果について, MLESとこれらの計算式との差異について考察する。図4(a)に示すように, $E_{as}(MLES)$ と $E_{as}(Deflection)$ の間には最大で10倍以上の差異が見られた。両者の比とAS層の厚さの関係を図5に示す。AS層厚が薄い場合, 式(1)の値は全測点で過小評価となることが分かった。また, 路床弾性係数がCBR(%)の10倍であると仮定すると, 両者がほぼ一致する結果となった。次にP-FWDのたわみ量からMLES逆解析値を推測する式(3,4)を作成し, 再計算した値を図4(b)に示す。回帰分析によるとそれぞれ $R^2=0.9253, R^2=0.9219$ と良好な値が算出され, P-FWDたわみ量によってMLES逆解析結果を推定できることが分かった。

$$E_{as(FWD)} = 2,352 \times \frac{(D_0 - D_{20})^{-1.25}}{h} \quad \text{式(1)^4}$$

$$E_{sub(FWD)} \cong 10 CBR = \frac{10,000}{D_{150}} \quad \text{式(2)^4}$$

$$E_{as(P-FWD)} = 1,226 \times \frac{(D_0 - D_{10})^{-0.96}}{h} \quad \text{式(3)}$$

$$E_{sub(P-FWD)} = \frac{3,200}{D_{60}} \quad \text{式(4)}$$

6. 今後の課題

2種のFWD試験結果のMLES逆解析では, AS層弾性係数の大きさに最大で10倍以上の差異が生じた。温度条件の差や载荷機構の違いによって生じる表面波の差異, AS層ひずみ速度の差異を, FWD荷重に対する舗装の動的応答の数値解析実験を通して考察したいと考えている。

7. まとめ

- (1)MLES逆解析の解としてのAS層弾性係数, 路床弾性係数は, 小型FWD試験のたわみ量から高い精度で推測できる。
- (2)通常のFWD試験で用いられるAS層弾性係数の推定式は, AS層厚さが小さいとき, 過小評価を与える傾向が見られた。
- (3)Mr試験によって測定された弾性係数とP-FWDを用いた弾性係数の推定値は大きく異なるが, 変位量の25%を多層弾性理論に入力値とすると, ほぼ一致することが分かった。

参考文献

- 1) 土木学会, 舗装工学委員会: 舗装工学の基礎, 舗装の評価方法, pp225-229, 2012.
- 2) 日本道路協会: 舗装調査・試験法便覧[第3分冊], アスファルト混合物のレジリエントモデュラス試験方法, pp140-148, 2007.
- 3) 土木学会, 舗装工学委員会, 多層弾性理論による舗装構造解析入門, pp51-65, 2005
- 4) 道路保全技術センター: 活用しよう FWD, 2005
- 5) 舗装診断研究会: 小型FWD利用の手引き, 小型FWDによる舗装構造区分の推定, pp38

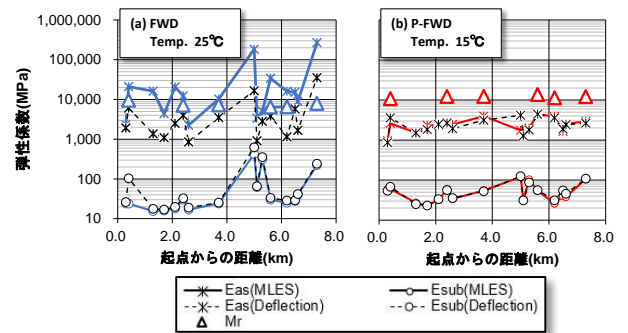


図4 AS層および路床の弾性係数

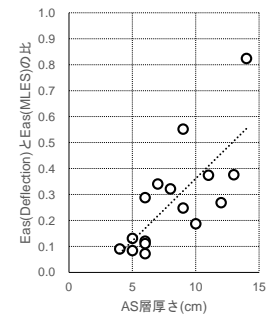


図5 層厚とEas