

小型 FWD を利用したアスファルト舗装の弾性係数の推定

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. 研究の背景

2012 年に発生した笹子トンネル崩落事故を契機に、既存インフラ設備の総点検が求められるようになった。それは道路舗装についても同様である。主要な道路舗装(アスファルト混合物(以下 As と称す)層の厚さが 15cm 程度)の点検には、路面性状測定車によるひび割れやわだち掘れの観察や車載型の FWD 試験によって As

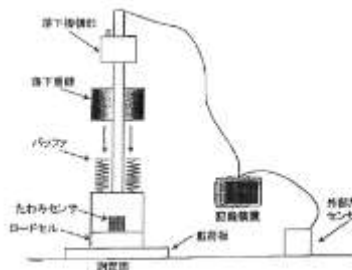


図 1 小型 FWD 試験機

表 1 本研究で使用した車載型 FWD と小型 FWD の比較

	FWD	小型 FWD
荷重 P(kN)	概ね 49	~12
載荷半径 φ (cm)	15	5
荷重の影響深さが路盤に達する最大 As 層厚さ h (cm)	30 程度	10 程度

層弾性係数や路床 CBR 推定を通して行われてきた¹⁾。ところが、簡易舗装(As 層の厚さが 5cm 程度)に従来の点検手法を実施することは経済的に不利になることが予想されるため、より安価に実施可能な点検手法の確立が必要であると思われる。本研究では、図 1 に示す小型 FWD 試験を利用した簡易舗装の点検に関する研究の一環として、簡易舗装の As 層弾性係数を算出する式を提案し、FWD 試験の代替としての小型 FWD 試験の利用可能性について調査した。また表 1 に本研究で用いた車載型 FWD 試験と小型 FWD 試験の比較を示す。本研究は車載型 FWD 試験と小型 FWD 試験との差異を考慮して、小型 FWD 試験で As 層の診断を行うことを目的としている。

2. 調査手順

本研究では、実際に利用されている道路路線の舗装について、電磁波による層厚測定で As 層厚が 5cm 程度であることを確認した路線沿いの 8 測点で車載型 FWD 試験と小型 FWD 試験を実施した。車載型 FWD 試験では、重錘を落下させることで 49kN 程度の衝撃荷重をさせるように設定し、このとき衝撃荷重 P(kN)と舗装表面のたわみ量を計測した。たわみ量を測定するために、載荷中心、載荷中心から 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 200cm 離れた地点にたわみ計を設置し、計測されたたわみ量をそれぞれ、 $D_0, D_{20}, \dots, D_{200}$ (mm)とした。小型 FWD 試験では、測点ごとに 3 種類の目標高さ(50cm, 40cm, 30cm)から 15kg の重錘を落下させることで発生させた衝撃荷重 P(kN)と、舗装表面のたわみ量を計測した。たわみ計は載荷点と載荷点から 10cm 離れた地点に設置し、測定されたたわみ量をそれぞれ D_0, D_{10} (mm)とした。これらの試験結果を利用して、以下の手順で車載型 FWD 試験、小型 FWD 試験を利用した As 層弾性係数の推定を行った。

- ① 車載型 FWD 試験の結果を整理し、As 層弾性係数 E_{fwd} (MPa)を算出する。車載型 FWD 試験の結果を用いて、式(1)によって As 層弾性係数を推定した。これを各測点の As 層弾性係数の基準値とする。

$$E_{fwd} = \frac{2352 \cdot (D_0^* - D_{20}^*)^{-1.25}}{h} \quad (1)^2$$

ここで h は As 層厚(cm)であり、 D_0^*, D_{20}^* は 49kN の標準荷重に補正したたわみ量で、 $D_i^* = (49/P) \cdot D_i$ として求める。

- ② 小型 FWD 試験によって計測された荷重 P(kN)、たわみ量 D_0, D_{10} (mm)を用いて、次節で説明する As 層弾性係数を推定する式(2)を作成し、これによって求めた As 層弾性係数を $E_{p,fwd}$ (MPa)とした。なお、小型 FWD 試験では、荷重の影響範囲を考慮して、 D_0, D_{10} を用いることとした。

次に両 FWD 試験によって算出される As 層弾性係数を用いて、各測点の As 層の診断を行った。一般的に As 層が良好とされる As 層弾性係数は 6000MPa 以上とされており、この基準を用いて車載型 FWD 試験で求めた As 層弾性係数 E_{fwd} から全測点の As 層の良・不良を診断した。また同様に、小型 FWD 試験によって算出した As

層弾性係数 $E_{p.fwd}$ を用いて,全測点の As 層の良・不良を診断し,両試験で同一の診断結果を得られることを目標とした。

3. 調査結果と考察

式(1)を用いて,車載型 FWD 試験によって算出した各測点の弾性係数 E_{fwd} (MPa)を表 2 として整理した.ここで As 層の厚さは一律に $h=5\text{cm}$ としている.また,診断結果として E_{fwd} が 6000(MPa)以上の測点は,『良』とし,それ以外の測点は『不良』とした。

小型 FWD 試験で得られた荷重 $P(\text{kN})$,載荷点のたわみ量 $D_0(\text{mm})$,載荷点から 10cm 離れた点でのたわみ量 $D_{10}(\text{mm})$,そのたわみ量差 (mm) を整理した結果の一例を表 3 に示す。

表 3 小型 FWD の試験結果 (測点 No.1 重錘落下高さ 50cm)

測点	荷重 $P(\text{kN})$	$D_0(\text{mm})$	$D_{10}(\text{mm})$	$D_0 - D_{10}(\text{mm})$
No.1	11.26	0.1245	0.0767	0.0478

次に,式(1)に倣って定数 k を用いて, $\theta(k) = P/(D_0 - D_{10})^k$ を定義した.ここで,べき数 k を適切な値に設定すると,車載型 FWD 試験で算出した As 層弾性係数 E_{fwd} (MPa)は,小型 FWD 試験の結果をパラメータとした $\theta(k)$ を変数とする線形回帰によって表すことができると仮定した. 図 3 は,車載型 FWD によって算出した As 弾性係数 E_{fwd} (MPa)と,小型 FWD 試験によって落下高さごとに算出した 3 点の θ (計:3×8=24 点)の関係を整理したものである. この場合, $k = 1.05$ とすることによって,線形回帰による決定係数 $R^2=0.92$ となった.表 4 は,測点 1 における θ の値を示したものである。

表 4 測点 No.1 の E_{fwd} (MPa)および $\theta(\text{kN}/\text{mm}^{1.05})$

測点	E_{fwd} (MPa)	θ_1 重錘 落下高さ 50cm	θ_2 重錘 落下高さ 40cm	θ_3 重錘 落下高さ 30cm
No.1	10237	274.2	273.7	299.0

この回帰式を用いて,小型 FWD 試験によって As 層弾性係数 $E_{p.fwd}$ (MPa)を求める式(2)を作成した。

$$E_{p.fwd} = \frac{37.14 \cdot P}{(D_0 - D_{10})^{1.05}} \quad (2)$$

小さな荷重レベルで実施した試験の結果は図 3 に示すようにばらつくが,これは荷重の絶対値が小さく,荷重測定における誤差が相対的に大きくなったためと考えられる.小型 FWD 試験を実施する時の落下高さの選定については,今後の検討課題とする予定である。

図 4 に小型 FWD 試験によるたわみ量差と荷重 P の関係図上に,式(2)によって算出した As 層弾性係数 $E_{p.fwd}$ を濃淡で示している.車載型 FWD 試験を利用した良・不良の判定結果は, $E_{p.fwd}$ による診断結果とすべての測点で一致している.以上より,簡易舗装における As 層弾性係数を用いた診断は,小型 FWD 試験を利用して十分に可能であると判断される。

参考文献

- 1) 土木学会舗装工学委員会,舗装工学の基礎,pp.213-252,2012
- 2) 阿部長門,たわみ評価指標に基づく舗装の構造評価,土木学会論文集 No.460,Vol.18,pp41-48,1993

表 2 FWD によって算出した As 層弾性係数 E_{fwd} (MPa)

測点	As 層弾性係数 E_{fwd} (MPa)	良/不良
No.1	10237	良
No.2	8765	良
No.3	8106	良
No.4	6412	良
No.5	2273	不良
No.6	2307	不良
No.7	1723	不良
No.8	3043	不良

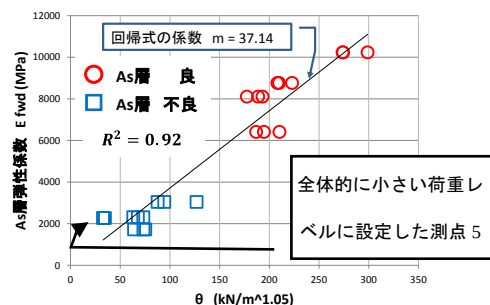


図 3 θ と E_{fwd} との関係
(As 層厚 5cm, $k=1.05$)

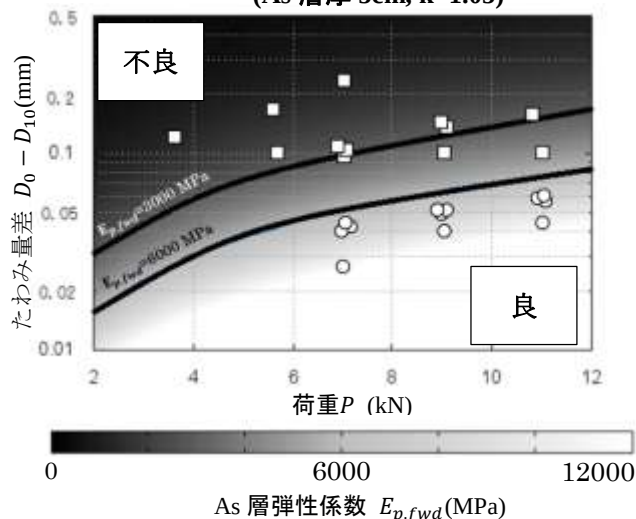


図 4 小型 FWD 試験結果と As 層弾性係数 $E_{p.fwd}$ (MPa)

- 車載型 FWD 試験で『良』とされた測点
- 車載型 FWD 試験で『不良』とされた測点