

小型 FWD の加速度センサによる地盤剛性の推定

北海学園大学 学生員 ○中山 真吾  
北海学園大学 学生員 青木 宏礼  
北海学園大学 正会員 上浦 正樹

1. はじめに

道路舗装において一般的で広く用いられている路盤は碎石などからなる粒状路盤である。粒状路盤は地盤上に敷設された数種類の路盤で構成される。地盤や路盤の剛性は道路舗装の保守の与える影響は大きい。現在、地盤や路盤の剛性を推定する方法は弾性理論を用いる方法が主流である。これらの剛性を評価する指標として載荷荷重と載荷時のたわみを測定しこれらの数値を基に K 値や弾性係数が算定されている。

地盤や路盤の剛性は Boussinesqu の弾性理論を用いて推定する方法によるか、または載荷によるたわみ曲線から多層弾性論による逆解析によって弾性係数を推定する。このようにアスファルト舗装のような表層がアスファルト層で粒状体が結合されていて、その下層の碎石などの粒状体が上層の質量を受けて層単位では連続体とみなすことができる構造体において、多層弾性体として理論的な解析が可能である。一方、施工段階でまだ施工前の地盤や粒状路盤が完成した段階では、アスファルトのような表面の連続性が期待できないことが予想される。このような場合に FWD によって載荷して載荷点直下のたわみから地盤の剛性を推定する場合に予備載荷によって載荷板と地盤のなじみをよくするなど載荷点直下の性状がサンプルとして地盤や粒状路盤の全体の性状を表しているか検討を要する。

そこで 本研究は、粒状体で構成される地盤・路盤の剛性評価する方法として弾性波を用いることとした。この方法によれば、地盤内などに伝達する微小ひずみによって推定される地盤等の剛性値を推定することができると考えられ、従来の方法で推定される剛性値と比較してその妥当性を検討することとした。

2. 小型 FWD による加速度測定

2. 1 予備試験

(1) 地盤条件

地盤表面に設置した小型FWDの外部センサについて地盤の弾性波動の測定範囲を確認するために砂質系土地盤を用いて検討した。地盤構成は上層が砂質土粘土層150mm、下層が粘土層となっている。この地盤を選定した理由は碎石地盤よりも表面の凹凸が少なく安定した載荷が可能であると判断できることによる。この砂質系土地盤の物理的性質は体積重量 19kN/m<sup>3</sup>、含水比 15%、間隙比 0.6、K<sub>30</sub> 値＝137MN/m<sup>3</sup>であった。

(2) 測定機器と測定方法

この砂質地盤において地盤に設置して固定しない小型 FWD の外部センサと表-1 に示す地盤内に固定する材料に取り付けた加速度計を用いて地盤の比較試験を行った。

画鋲は地盤の表面から突き刺しているものである。金属棒は、先端の拘束が最も小さいため地盤の振動を最もよく測定できると推定した。

| 表 - 1 地盤に固定する材料 |    |                  |
|-----------------|----|------------------|
| 種類              | 材質 | 形状               |
| 画鋲              | 鉄  | 直径 10mm 針の長さ 7mm |
| 金属棒             | 鉄  | 直径 10mm 長さ 275mm |

(3) 試験方法

小型FWD本体によって載荷し、発生する弾性波動を2つの加速度計を内蔵した外部センサで地盤表面の鉛直方向の振動を取り込む。その間隔は基本となる加速度センサ（センサA）を載荷点から300mmの地点にセットする。もう1つ（センサB）はこの地点から100mm単位で間隔を設定し最大900mmまで測定する。

次に比較試験としてセンサ B の近傍（50mm 以内）に加速度センサを頭部に加速度計を取り付けた画鋲をセットし、載荷して発生した弾性波動を検知した。同様に金属棒（深さ 100mm または 250mm）をセンサ B の近傍に設置し FWD によって発生した弾性波動を検知する。

(4) 測定結果

図 - 1 は、金属棒(深さ 250mm)と小型 FWD 外部センサの結果である。金属棒は下層まで達していることから、表面で測定する小型 FWD とは異なっており、下層での弾性波動の速度は表面より遅い傾向を示している。

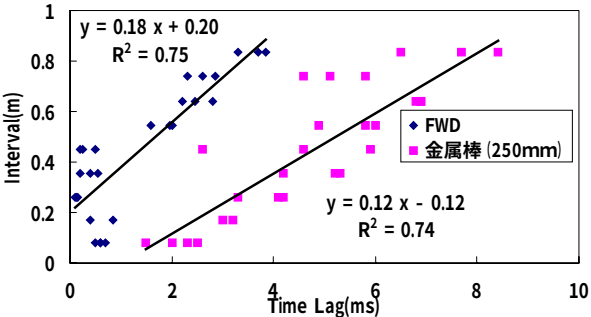


図 - 1 小型 FWD と金属棒(250mm)の関係

キーワード 小型 FWD, wavelet 解析,  
連絡先 〒064-0926 札幌市中央区南 26 条西 11 丁目 北海学園大学工学部土木工学科 TEL011-841-1161

図-2,図-3より,小型FWDのたわみセンサは固定された画鋸,金属棒(深さ100mm)と同等の弾性波を観測できることが明らかとなった。

## 2. 2本試験

### (1) 地盤条件

旭川郊外の高規格道路において盛土高5.5m上に敷設された下層路盤(最大粒径80mm:路盤厚250mm)と更にその上部にある上層路盤(最大粒径40mm:路盤厚500mm)を使用して試験を行う。この道路の路盤は上層路盤,下層路盤との粒状路盤であり,試験はアスファルト層の打設直前の段階で行った。上層路盤,下層路盤ともに粒度調整碎石を用いており層厚が上層路盤150mm,下層路盤600mmである。

### (2) 測定機器と測定方法

測定機器として小型FWDの本体と2個の外部センサを用いる。第1外部センサは載荷点から300mm離れた地点を基準点として定め,この基準点から外部センサの間隔を200mm(L=200)から900mm(L=900)まで100mm間隔で第2センサを移動して各位置で測定を繰り返す。

### (3) waveletを用いた弾性波動の伝達時間の推定方法

wavelet解析とは,時系列データの波形の特性を時刻ごとの波長別の強度(振幅)を推定することのできる方法である。第1センサと第2センサ間の伝達時間を推定する方法は,各センサに記録されている時系列データをwavelet解析によって波長ごとにピーク時の成分の強さが示される。そこで第1センサのピークと第2センサのピークの時間差( $\Delta t$ )をコンピュータのシステム上から求める。

### (4) 路盤の弾性係数の推定

本研究ではwavelet解析において波長が100mm付近でピークが見られる(図-4)。この波長に着目して第1センサと第2センサ間の時間差を求めた。次にこれから式(1)から式(3)より弾性係数を求めた。以上の結果を図-5に示す。また,今までは波形の立ち上がりの点を目目で判断する方法をとっていたが,この方法も試みた。加えて理論的な検証として載荷点直下の変位と荷重を用いてBoussinesqの式より導いた結果も併記して結果を示す。

$$V_s = \frac{L}{t_L} \quad (1)$$

$$G = \rho \times V_s^2 \quad (2)$$

$$E = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot G \quad (3)$$

## 5. 結論

(1) 予備実験により金属棒を深さ250mmまで打ち込んだ時の弾性波動は下層まで達していることから表面で測定した小型FWDの測定結果と違うことが明らかとなった。また,下層での弾性波動は表面より遅い傾向を示している。

(2) 本実験での結果より,Boussinesqの式より求めた弾性係数と,wavelet解析,加速度波形の波の立ち上がり部分から時間差を求め式(1)~式(3)で求めた弾性係数はほぼ同等な弾性係数を得ることができる。

## 参考文献

- 1) 「舗装工学」編集委員会編 舗装工学 土木学会 pp.116119,19952
- 2) 土と基礎の振動 鹿島出版会 岩崎敏男 嶋津晃臣 pp94-96,1975.

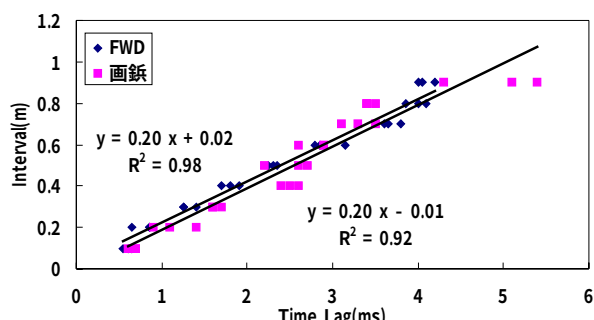


図-2 小型FWDと画鋸の関係

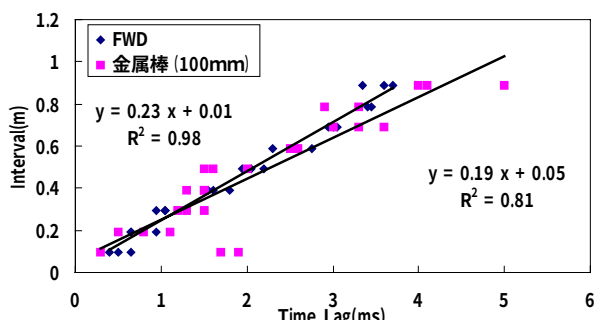


図-3 小型FWDと金属棒(100mm)の関係

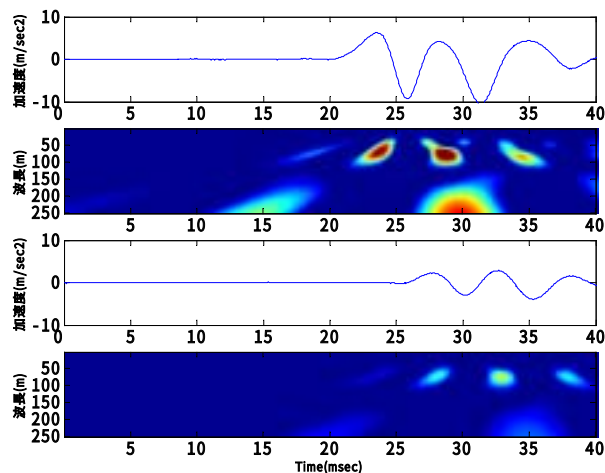


図-4 wavelet解析

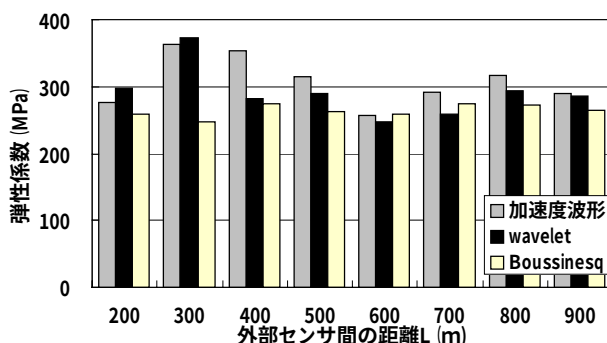


図-5 路盤の弾性係数の解析結果