

小型 FWD を用いた路盤の弾性係数の比較に関する研究

Comparison of the subgrade elastic modulus using FWD

北海学園大学工学部 ○ 学生員 青木宏礼(Hironari aoki)
北海学園大学大学院 学生員 中山真吾(Shingo nakayama)
北海学園大学工学部 正 員 上浦正樹(Masaki kamiura)

1. はじめに

近年における道路整備の進展により、適切な維持・修繕の必要性が高まってきている。現在、舗装の構造評価の方法として、従来から破壊試験や非破壊試験が行なわれてきている。破壊試験では舗装の開削によるサンプル試験や路床・路盤の CBR 試験などの評価法が用いられているが、近年の舗装の性能評価手法としては効率性やデータ数を多く入手できることから研究が進んでいる非破壊試験が有効な選定方法であると考えられている。日本においては FWD (Falling Weight Deflectometer) と多層弾性理論を使用して衝撃荷重と各たわみセンサのピーク値を用いて静的に各層の弾性係数を推定する方法 (静的逆解析) が非破壊試験として主に活用されている¹⁾。しかし、FWD を用いた計測は準備からデータ収録までに多くの労力と時間を要し、設置場所が限られると考えられる。

そこで、本研究においては取り扱いが容易で運搬性が高く短時間で計測が可能である小型 FWD を用いて実験を行う。各外部センサから計測されるデータの中から加速度とたわみ量を用いて3つの解析方法から弾性係数の推定、比較・検討を行う。本研究の流れをフローに示す (図-1)。

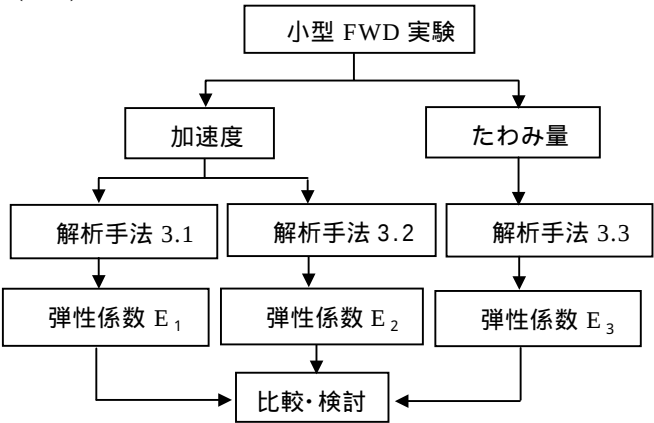


図-1 研究フロー

2. 試験概要

愛別高規格幹線道路の舗装工事中路盤で試験を行なった。小型 FWD (載荷板半径 50mm) と 2 台の外部センサを一直線上に任意の距離において水平に設置する。次に、小型 FWD 本体の設置位置を路盤のほぼ中央に固定し、本体と第 1 外部センサの距離を X_1 、第 1 外部センサと第 2 外部センサの距離を X_2 として設置した (図-2)。

試験条件として、設置地点 A、B それぞれに、の距離で試験を行う (表-1)。なお、計測データのサンプリング間隔は 0.05ms、路面温度は A 地点 27.8、B 地点 27.9 である。

観測地点	X_1 (mm)	X_2 (mm)
A, B, 地点	200	100 ~ 1000
	300	100 ~ 900

表-1 試験条件

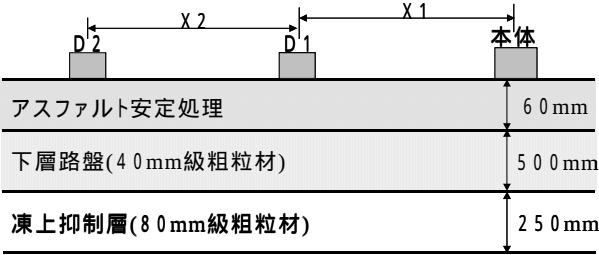


図-2 小型 FWD の配置間隔と舗装構成

3. 解析方法

3.1 加速度波形を用いた解析

小型 FWD の第 1 外部センサ、第 2 外部センサで計測された加速度波形から、その波形の第 1 波におけるピーク値での時間を選定することで外部センサ間の時間差 Δt が得られる。この時間差 Δt から、伝播速度 V_s 、剛性率 G が算出され弾性係数 E が推定される。

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (s) \quad (1)$$

第 1、第 2 外部センサ間の距離を X_2 、伝播速度 V_s 、剛性率 G 、弾性係数 E は式 2 ~ 4 のようになる。

$$V_s = \frac{X_2}{\Delta t} \quad (m/s) \quad (2)$$

$$G = \rho V_s^2 \quad (MPa) \quad (3)$$

$$E = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot G \quad (MPa) \quad (4)$$

ここに、現場密度試験より $\rho = 1930 (kg/m^3)$ 、ポアソン比を $\nu = 0.35$ ²⁾ とする。

3.2 周波数特性による解析

外部センサから計測された加速度における個々の周波数成分により加速度波形の第 1 波で見られるピーク値を選定する。第 1、第 2 外部センサより、ピーク値までのそれぞれの距離を l_1, l_2 とし、その距離差から時間差 Δt が算出され次式のようになる。

$$\Delta t = (l_2 - l_1) \cdot t_s \quad (s) \quad (5)$$

伝播速度、剛性率、弾性係数は、式 2 ~ 4 と同じ式を用い、 t_s = 0.05ms とする。なお、解析を行う手法として Wavelet 解析を用いた。

3.3 Boussinesq を用いた解析

舗装上に設置した小型 FWD の重錘(載荷板半径 50mm)を載荷し,最大荷重 P (N)と本体直下のたわみ量 D (mm)を用いて弾性係数 E は次のようになる。

$$E = \frac{2(1-\nu^2)P}{\pi r D} \quad (\text{MPa})$$

ポアソン比: $\nu = 0.35$ ²⁾

載荷半径: $r = 50$ (mm)

5. 解析結果

それぞれの解析方法による A 地点の弾性係数の値を代表例として示した(図-3・4)。各地点ごとの載荷回数を 3 回とし,その 3 回から求められる 3 つの弾性係数の平均値を用いた。各解析方法による弾性係数の推定値は 250(MPa)を前後する一定な数値であった。小型 FWD が推奨する粒状路盤で載荷半径 50mmを用いた時の弾性係数 150(MPa)以上を満たしている。

また,加速度から推定された弾性係数については,各地点において時間差と距離差の相関による比較も行った(図-5・6)。各地点の相関関係は, A 地点 0.95 ~ 0.99, B 地点 0.97 ~ 0.99 であった。

6. おわりに

相関関係は各地点共に相関性はよく,解析結果より加速度によって推定される弾性係数はほぼ同一な値である。また,Boussinesq を用いた解析によるたわみ量から推定された弾性係数と比較をしても同一な値である。このことから,加速度波形を用いた解析による時間差を選定する方法は周波数特性による解析のように顕著な時間差を選定することで求められる弾性係数に対して信頼性が高いと思われる。

本研究において,路盤の弾性係数を推定し各解析方法による比較は,研究に対して有益なものとなった。今後は他の解析方法による比較・検討も行い発展させていく。

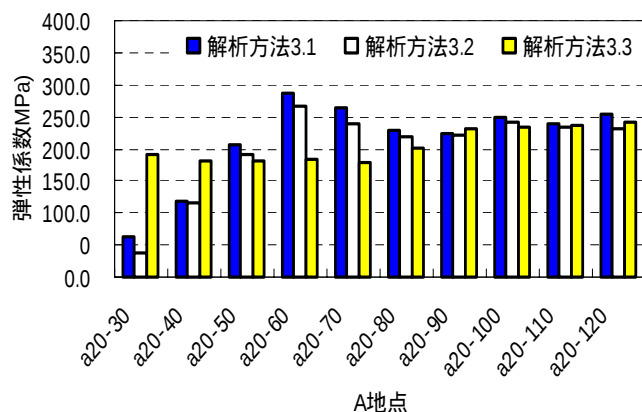


図-3 弾性係数の推定

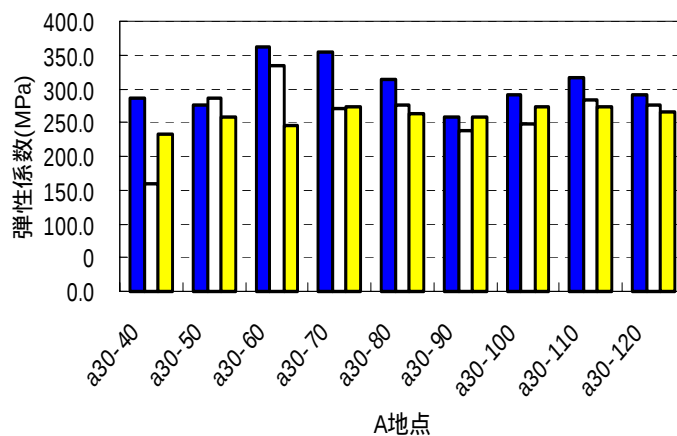


図-4 弾性係数の推定

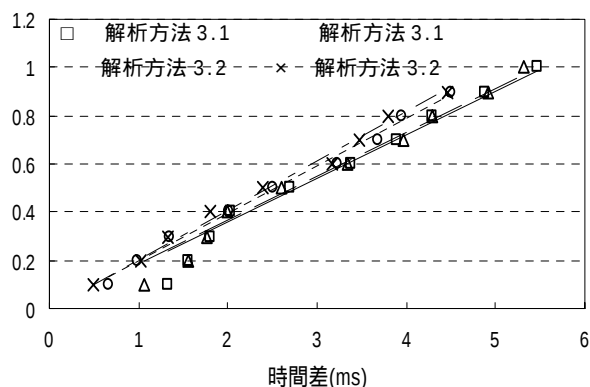


図-5 時間差と距離差の相関図 (A 地点)

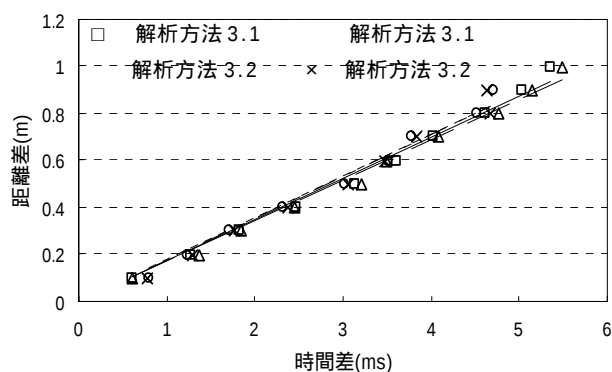


図-6 時間差と距離差の相関図 (B 地点)

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) 「貨物設備アスファルト舗装設計補修の手引き」日本貨物鉄道株式会社, pp.76, 2000