

# 地盤の表面波に関する基礎的研究

A study of the surface wave on the ground

北海学園大学工学部 学生員 吉田剛(Takeshi Yoshida)  
 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

現在、地盤の評価を行なう手法としては、破壊試験、非破壊試験とがある。破壊試験では、多大な労力、時間を消費するとともに、調査ポイントが限定されるなど問題があることから、非破壊試験が行なわれるようになってきている。非破壊試験は、超音波探傷試験、浸透探傷試験、放射線投下試験などがある。そこで、非破壊試験器の1つである FWD (Falling Weight Deflectometer) に注目する。諸外国において、FWD は舗装の支持力を評価する非破壊試験器の「たわみ測定装置」として標準装置となっており、約 300 台以上が稼動している状況である。FWD は、地盤や土構造物の構造評価に適応可能であるが、主に小型 FWD が使用されることが多い。小型 FWD は、FWD に比べ、安価で運搬に優れている特徴がある。FWD は大型であるために試験場所が限定されてしまう。そこで、本研究では小型 FWD に注目する。

今回の試験で使用する小型 FWD は、外部センサが 2 台あり、内部に変位計測用の加速度センサが内蔵されており、加速度を測定することができる。小型 FWD の外部センサで測定される加速度は、地盤表面を伝わってきたものなのか、それとも地盤内を伝わってきたものなのかは、確かでないことから、小型 FWD の外部センサから測定される加速度に着目し、検証をする。

## 2. 試験概要

本試験では、図-1 のように、1 つ目の実験として、小型 FWD 本体と一直線上に 2 台の外部センサを任意の距離に設置する。同様に、上部に加速度計を接着させた 2 本の金属棒(長さ 275mm, 直径 10mm, 材質は鉄)を、小型 FWD の外部センサと同じ距離に設置する。金属棒を深さ 100mm 打ち込む。2 つ目の実験として、上記と同様に金属棒を深さ 250mm 打ち込む。3 つ目の実験として、上記の実験と同様に、上部に加速度計を接着させた 2 個の画鋸(直径 10mm)を設置する。3 つの実験とも、小型 FWD 本体の重錘を各測点において 3 回落下させ、小型 FWD の外部センサと加速度計から加速度を測定する。

小型 FWD 本体から第 1 外部センサまでの距離を  $X_1$  とし、第 1 外部センサから第 2 外部センサまでの距離を  $X_2$  とする。設置位置は表-1 のように  $X_1$  を 200mm または、300mm に固定し、 $X_2$  を  $X_1$  から 100mm 間隔で設置する。小型 FWD のサンプリング間隔は 0.05ms、加速度計のサンプリング間隔は、0.10ms である。

気温 10.0 , 地盤温度は 8.2 である。土の湿潤単位体積重量は 1.9KN/m<sup>3</sup>, 土の乾燥単位体積重量は 1.7KN/m<sup>3</sup> である。

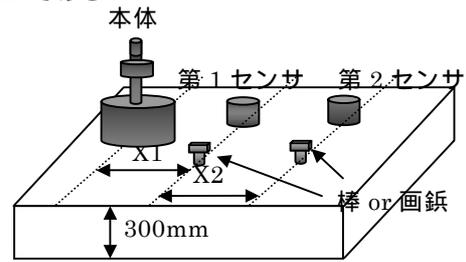


図-1 試験器具配置

表-1 小型 FWD の外部センサと加速度計の設置位置

X1(mm)	X2(mm)
200	100,200,300,400,500,600,700,800,900,1000
300	100,200,300,400,500,600,700,800,900

## 3. 解析方法

### 3.1 加速度波形を用いた解析

図-2 に示す、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、その波形の立ち上がり始める値での時間を選定することで外部センサ間の時間差  $t$  が得られる(式 1)。この時間差  $t$  と第 1、第 2 外部センサ間の距離  $X_2$  から、速度  $V'_s$  が算出される(式 2)。

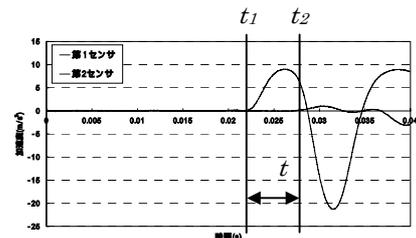


図-2 小型 FWD の第 1, 第 2 外部センサの加速度波形

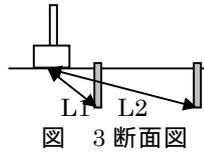
$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (\text{s}) \quad (1)$$

$$V'_s = \frac{X_2}{\Delta t} \quad (\text{m/s}) \quad (2)$$

加速度計の速度を算出するときには、画鋸に加速度計を接着したときのみ、上記と同様に行う。ただし、金属棒に加速度計を接着させたとき、加速度計は、小型 FWD 本体の載荷点から、金属棒の最下部に伝播する加速度を測定し、小型 FWD 本体の載荷点から金属棒の最

下部までの距離をそれぞれ L1, L2 として, 金属棒間の距離を  $l$  とする. 加速度計の加速度波形から得られる時間差  $t$  から, 速度  $V'_s$  が算出される(式 3)<sup>1)</sup>.

$$V'_s = \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (\text{m/s}) \quad (3)$$



### 3.2 K<sub>30</sub> 値による解析

小型 FWD の第 1, 第 2 外部センサ間の距離 X2 と  $t$  から得られる速度  $V'_s$  について検証を行う. 小型 FWD の K<sub>30</sub> 値を求める(式 4). K<sub>30</sub> 値と N 値が 10 : 1 の関係であることから, N 値が得られる. その N 値から,  $V_s$  を求める(式 5)<sup>2), 3)</sup>.

$$K_{30} = \frac{P}{\pi r^2 D} \times \frac{R}{R_{300}} \times 10^3 \quad (\text{MN/m}^3) \quad (4)$$

K<sub>30</sub>: TML 式小型 FWD システムによる地盤反力係数

P: 荷重(N), D: 変位(mm),

r: 載荷板半径(mm), R: 載荷板直径(mm)

R<sub>300</sub>: 基準載荷板(300mm)の直径

$$V_s = 91.0 \times N^{0.337} \quad (\text{m/s}) \quad (5)$$

## 4. 解析結果

小型 FWD の第 1, 第 2 外部センサから求まる  $V'_s$  を, N 値から求まる  $V_s$  と比較すると, 図-4 のように  $V'_s$  にはバラツキがある. しかし, 近似線を挿入することにより,  $V'_s$  と  $V_s$  は, 類似した近似線が得られる. 小型 FWD の第 1, 第 2 外部センサの距離間と時間差の関係から求まる  $V'_s$  は,  $V'_s = V_s$  であると考えられる.

図-5, 図-6 より小型 FWD の外部センサから求められる速度は, 画鋸を設置した場合と, 地盤内に金属棒を深さ 100mm 打ち込んだ場合に求められる速度と近似していると考えられる. 図-7 のように地盤内に金属棒を深さ 250mm 打ち込んだ場合に求められる速度は小型 FWD の外部センサから求まる速度とは, 異なるものであると考えられる. そのため, 小型 FWD の外部センサは, 地盤表面を伝播する加速度を測定することができると考えられる. また, この外部センサは 250mm の深さにおいて測定された加速度は異なるものと考えられる.

## 5. おわりに

小型 FWD の第 1, 第 2 外部センサから求められる速度  $V'_s$  は, 図-4 より, 第 2 外部センサの設置位置 X2 が 500mm から 600mm の速度  $V'_s$  と N 値から求まる速度  $V_s$  は, ほぼ同値が得られた.

図-5, 図-6 より小型 FWD の外部センサから求められる速度は, 画鋸を設置した場合と, 地盤内に金属棒を深さ 100mm 打ち込んだ場合に求められる速度とはほぼ同一の近似線がえられる.

小型 FWD の外部センサを小型 FWD 本体の近くで設置した場合や, 遠くに設置した場合に  $t$  にバラツキが生じる. このバラツキについて今後検討をする.

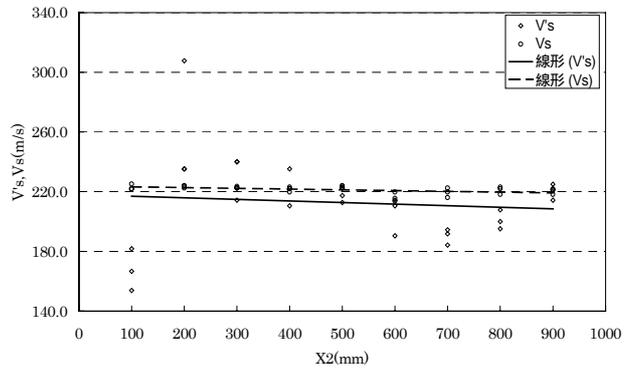


図-4  $V'_s$  と  $V_s$  の比較

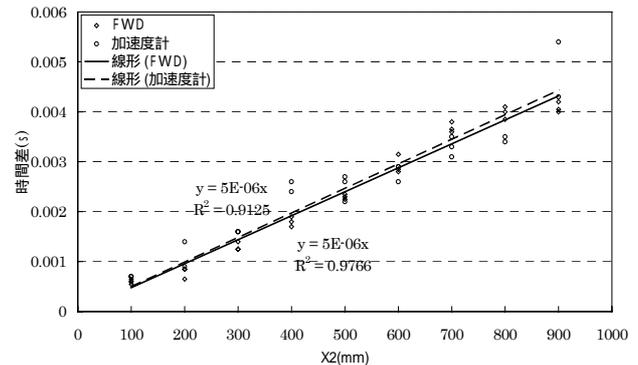


図-5 画鋸, X1: 300mm, X2 と  $t$  の関係

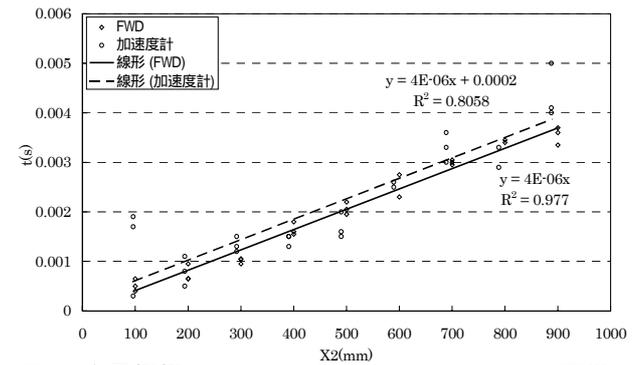


図-6 金属棒深さ 100mm, X1: 300mm, X2 と  $t$  の関係

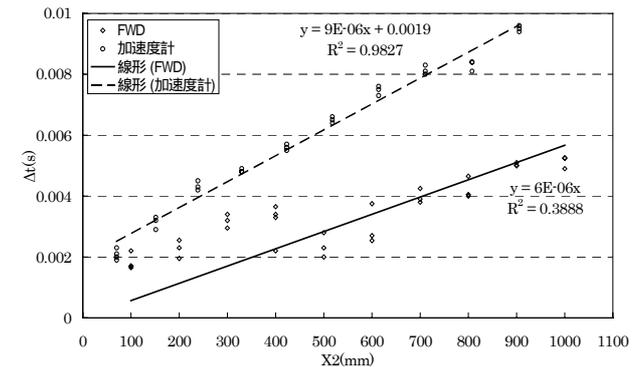


図-7 金属棒深さ 250mm, X1: 200mm, X2 と  $t$  の関係

## 参考文献

- 1) 岩崎敏男, 嶋津晃臣, 土と基礎の振動: 鹿島出版会, pp94-96, 1975.
- 2) 社団法人地盤工学会, 地盤調査法: pp360, 2001.
- 3) 社団法人地盤工学会, 地盤工学ハンドブック: pp217-235, 1999.