

# 小型 FWD を用いた路床・路盤の構造評価方法に関する研究

道路研究室 小笠原 浩  
指導教官 高橋 修

## 1. はじめに

道路舗装における路床・路盤の支持力評価方法には、現場 CBR 試験や平板載荷試験等が適用されている。しかし、これらの試験を行うには、反力となる大掛りな機材が必要であり、測定および準備に時間がかかるという欠点がある。そのため、簡便かつ迅速で、十分な精度を有する試験方法が求められている。そこで現在検討されている方法として小型 FWD 試験がある（写真 1 参照）。



写真 1 小型 FWD 装置

小型 FWD は、衝撃荷重によって発生するたわみと荷重を測定することが可能であるため、反力等は不要である。また、測定に要する時間は 1 測点につき僅か 1 ~ 3 分程度であることから迅速な測定が可能である。

しかし、この装置は開発されたばかりであり、測定方法、データの処理方法、結果の評価方法

に不明な点が多いのが現状である。

そこで本研究では、路床・路盤に対し、平板載荷試験と同等の評価を可能にするために、測定方法、データの処理方法を明確にすることを目的としている。

## 2. バッファの違いによる影響の調査

### 2.1 調査方法

調査では 2 種類のバッファを使用する。写真 2 の左は丸い形状であるため丸型バッファ、右は細長い形状であるため細型バッファとする。



写真 2 ゴムバッファ

まず、コンクリート反力床の上にゴム板を介在し、小型 FWD を設置する。表 1 に試験条件を示す。

表 1 試験条件

| 地盤条件       | コンクリート反力床     |
|------------|---------------|
| 載荷板直径 (mm) | 200           |
| 落下高さ (mm)  | 150, 300, 450 |
| 重錘質量 (kg)  | 10            |

### 2.2 調査結果

測定によって荷重・変位の時系列データが得られる。このデータを用いて丸型バッファと細

型バッファの比較を行った。図 1、図 2 に両者の荷重、変位の時系列データを示す。この図は落下高さ 150mm 時のデータである。

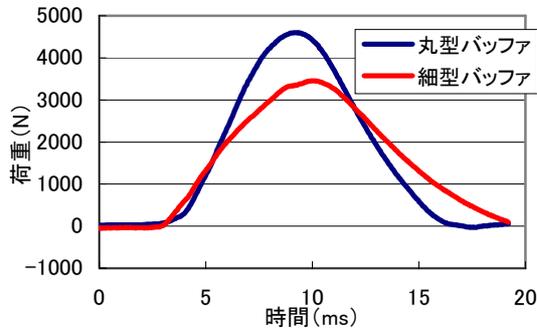


図 1 時間 - 荷重関係

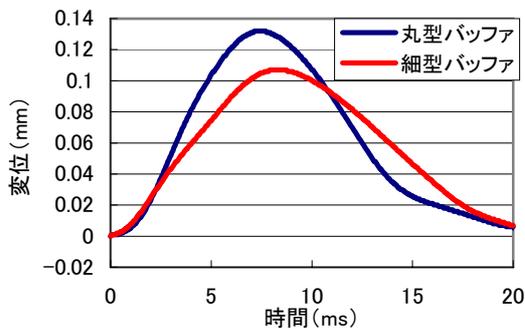


図 2 時間 - 変位関係

この図から、落下高さが同じであっても荷重・変位のピーク値が異なることが分かる。また、作用時間は、荷重・変位ともに丸型バッファの方が短いことが分かる。その理由として、バッファの形状から、細型バッファの方が荷重を与えた際に変形しやすいため、衝撃を吸収するのではないかと考えられる。そのため、荷重、変位は小さくなり重錘とバッファが接している時間が長くなるのではないかと考えられる。

そこで、地盤反力係数  $K_f$  (以下、 $K_f$  と略す) 弾性係数  $E_f$  (以下、 $E_f$  と略す) についても同じ落下高さであれば同じ結果を得ることができるのか比較を行った (表 2 参照)。それぞれの値は式 2、式 3 によって求められる。

$$K_f = \frac{P}{\pi r^2 \delta_f} \times \frac{R}{R_{300}} \times 10^3 \quad (2)$$

ここに、 $K_f$  : 地盤反力係数(N/cm<sup>3</sup>)

$P$  : 荷重最大値(N)

$\delta_f$  : 変位最大値(mm)

$r$  : 載荷板半径(mm)

$R$  : 載荷板直径(mm)

$R_{300}$  : 基準載荷板直径 (300mm)

$$E_f = \frac{2(1-\nu^2)P}{\pi r \delta_f} \quad (3)$$

ここに、 $E_f$  : 地盤弾性係数(N/mm<sup>2</sup>)

: ポアソン比(0.30)

表 2  $K_f \cdot E_f$  の比較 (一例)

| 落下高さ<br>(mm) | 丸型バッファ                        |                               | 細型バッファ                        |                               |
|--------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|              | $K_f$<br>(N/cm <sup>3</sup> ) | $E_f$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | $K_f$<br>(N/cm <sup>3</sup> ) | $E_f$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| 150          | 728                           | 199                           | 682                           | 186                           |
| 300          | 804                           | 219                           | 725                           | 198                           |
| 450          | 873                           | 238                           | 772                           | 211                           |

その結果から、同じ落下高さでは  $K_f$ 、 $E_f$  ともに異なった値が得られた。しかし、丸型バッファの落下高さ 150mm の値と細型バッファの落下高さ 300mm の値を比較すると、近い結果が得られていることが分かる。つまり、同じ結果を得るには、形状によって落下高さを変える必要があるといえる。このことから、同一地盤上で 2 種類のバッファによって測定を行った場合、同じ荷重強さが得られる落下高さで測定する必要がある。また、同じ地盤を比較しているにもかかわらず、落下高さによって  $K_f$  と  $E_f$  が異なる。そのため、どの値を用いて評価を行えばよいのか不明である。

### 3. 室内試験

#### 3.1 試験方法

##### (1) 地盤条件

コンクリート土槽を用いて道路舗装に近い路床・路盤を構築し、小型 FWD 試験と平板載荷試験を行った。路床材料はマサ土、透水マット + 砂質土を用い、路盤材料は粒度調整碎石 M - 40 を用いる。地盤の条件を以下に示す。

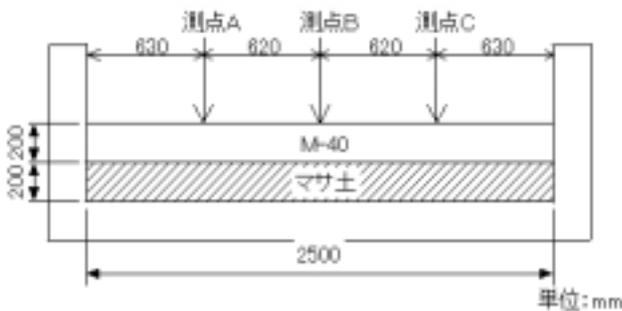


図3 条件1、3の概略図

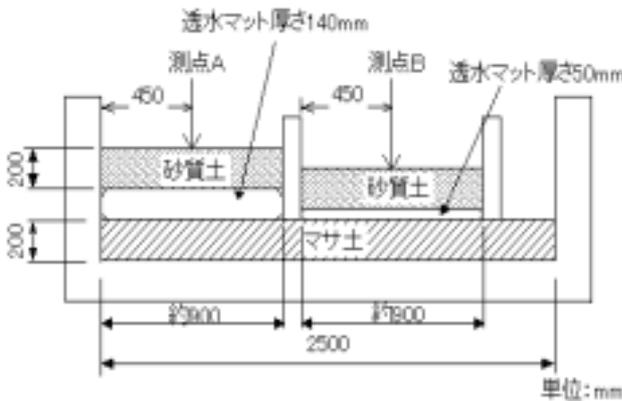


図4 条件2の概略図

##### ・ 条件1：含水比が低い路盤材料

マサ土を厚さ 200mm 構築し、その上に M - 40 を厚さ 200mm 構築する。その後、M - 40 を厚さ 125mm、50mm になるように削り、3 種類の厚さで測定を行う。最後にマサ土 200mm で測定を行う（図 3 参照）。

##### ・ 条件2：支持力の低い路床

マサ土 200mm 上に、厚さ 140mm と 50mm の透水マットを敷く。その上に砂質土を厚さ

200mm になるまで 50mm 間隔で構築する（図 4 参照）。よって、4 種類の厚さで測定を行う。

##### ・ 条件3：最適含水比の路盤材料

今回用いた粒度調整碎石 M - 40 の最適含水比は 7.2% であった。そのため、M - 40 を最適含水比に調節し、マサ土 200mm 上に 200mm まで 50mm 間隔で構築する（図 3 参照）よって、4 種類の厚さで測定を行う。

##### (2) 装置条件

表3 装置条件

|           |             |
|-----------|-------------|
| 重錘(kg)    | 5           |
| パフア       | 丸型、細型       |
| 載荷板直径(mm) | 100、200、300 |
| 落下高さ(mm)  | 50～550      |

本試験では、表 3 の小型 FWD 装置の条件で測定を行った。

##### (3) 地盤支持力係数 K の算出方法

平板載荷試験の支持力係数  $K_{30}$ （以下、 $K_{30}$  と略す）は、変位 1.25mm とそのときの荷重強さによって求められる（図 5 参照）。これに対し、小型 FWD の支持力係数  $K_F$ （以下、 $K_F$  と略す）は、載荷板直径 100mm の場合、平板載荷で用いた 1.25mm に平板載荷の載荷板との直径比 1/3 を掛けた変位 0.417mm（ $F_1$ ）とそのときの荷重強さで求められる（図 6 参照）。荷重強さは内挿もしくは外挿によって求められる。同様に、200mm は 0.833mm（ $F_2$ ）、300mm は 1.25mm（ $F_3$ ）である。

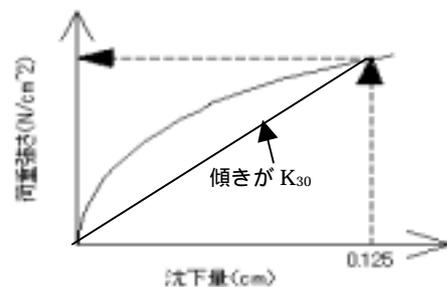


図5  $K_{30}$ の算出方法

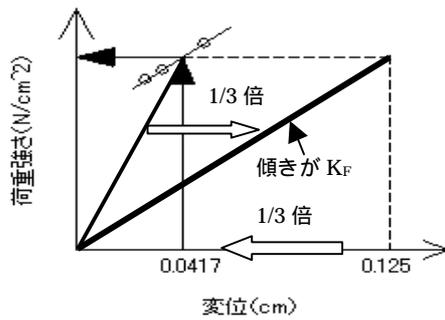


図6  $K_F$ の算出方法 (100mm)

#### (4) 地盤の分類

路床は CBR3 以上とされており、平板載荷の  $K_{30}$  に換算すると  $65 \text{ N/cm}^3$  以上となる。路盤材料はコンクリート舗装に対して、路盤上の  $K_{30}$  は  $196 \text{ N/cm}^3$  以上とされている。このことから、表 4 のように分類した。

表 4 地盤の分類

| 地盤       | $K_{30}$ ( $\text{N/cm}^3$ ) |
|----------|------------------------------|
| 支持力の低い路床 | 65 未満                        |
| 支持力の高い路床 | 65 以上                        |
| 支持力の低い路盤 | 196 未満                       |
| 支持力の高い路盤 | 196 以上                       |

### 3.1 試験結果

平板載荷試験の結果、一般的に路床は  $K_{30}$  が  $65 \text{ N/cm}^3$  以上である。このことから、条件 1 のマサ土は一般的な路床が作製できた。路盤については  $K_{30}$  が  $196 \text{ N/cm}^3$  以上である。このことからほぼ一般的な路盤が作製できた。

また、 $K_{30}$  は  $47.83 \sim 336.59 \text{ N/cm}^3$ 、荷重強さは  $5.98 \sim 30.68 \text{ N/cm}^2$  と幅広いバリエーションの地盤を作製することができた。

#### (1) 載荷板直径の違いによるデータへの影響

図 7 に、条件 3 厚さ 50mm に対し、細型バッファ、載荷板直径 3 種類を用いて測定を行った際の荷重強さと変位の関係を示す。落下高さ

は 100mm ~ 350mm まで 50mm 間隔で測定を行った。その結果、同一地盤上で載荷板直径を変えて測定を行うと、図 7 のように、載荷板直径 200mm と 300mm は変位  $F$  を挟むことができない。そのため、外挿によって  $K_F$  を求めなくてはならなくなり、この値を評価に用いている。

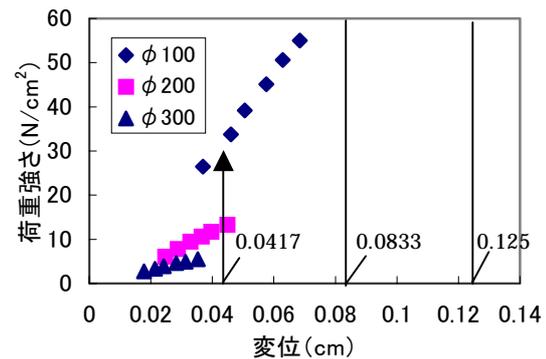


図 7 荷重強さ - 変位

では、外挿によって  $K_F$  を求めると、結果にどの程度、影響を与えるのか調査した。この結果を表 5 に示す。

表 5 計算結果

| (mm) | $F$<br>(cm) | 荷重強さ<br>( $\text{N/cm}^2$ ) | $K_F$<br>( $\text{N/cm}^3$ ) |
|------|-------------|-----------------------------|------------------------------|
| 100  | 0.0417      | 30.60                       | 244.6                        |
| 200  | 0.0833      | 27.24                       | 218.0                        |
| 300  | 0.125       | 19.82                       | 158.5                        |

この結果から、外挿によって求めた値は、内挿によって求めた値と大きく異なる。このことから、内挿によって  $K_F$  を求める必要があるといえる。また、変位  $F$  を挟むことが可能な載荷板での測定が必要となる。

#### (2) 落下高さの違いによるデータへの影響

内挿によって  $K_F$  を求めるのであれば、落下高

さによって  $K_f$  が同じ値でなければ、 $K_F$  の精度に影響を与える。そこで、落下高さを変えると様々な荷重強さが得られることから、同一地盤上で載荷板直径 100mm、丸型バッファを用い測定を行った。落下高さは 100mm ~ 350mm まで 50mm 間隔で変え、これによって得られる  $K_f$  の比較を行った。その結果を表 6 に示す。

表 6 地盤反力係数  $K_f$  の比較

| 落下高さ<br>(mm) | 荷重強さ<br>( $N/cm^2$ ) | (cm)   | $K_f$<br>( $N/cm^3$ ) |
|--------------|----------------------|--------|-----------------------|
| 100          | 26.46                | 0.0369 | 239                   |
| 150          | 33.75                | 0.046  | 245                   |
| 200          | 39.16                | 0.0505 | 259                   |
| 250          | 45.07                | 0.0575 | 261                   |
| 300          | 50.61                | 0.0629 | 268                   |
| 350          | 54.99                | 0.0684 | 268                   |

この結果から、落下高さを変えることで  $K_f$  は一定にはならない。そのため、内挿を行う際に、比較的近い  $K_f$  が得られる落下高さのデータを用いて求めなければ、精度に影響を与えといえる。また、載荷板直径 200mm、300mm でも同じことがいえる。

### (3) 試験結果の相関

小型 FWD 試験と平板載荷試験によって得られる地盤支持力係数  $K$  を用いて相関の調査を行った。

まず、本研究のデータを用いて内挿と外挿の両方によって  $K_F$  を求めた場合、どのような関係が得られるのか調査した。その結果を図 8 に示す。

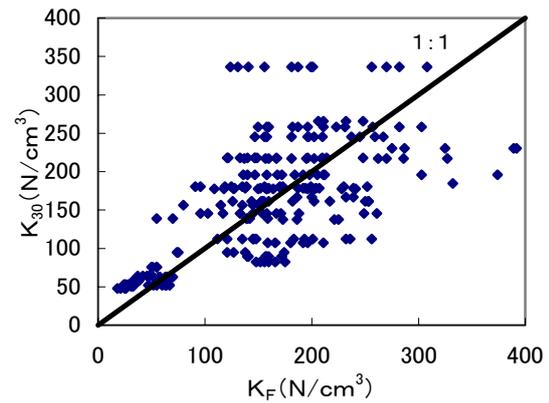


図 8  $K$  値の相関 (内挿および外挿)

この図から相関係数が 0.469 と低く、ばらつきがかなり大きいことが分かる。次に、内挿によって求められた  $K_F$  のみを用いて同じように関係を調査した。その結果を図 9 に示す。

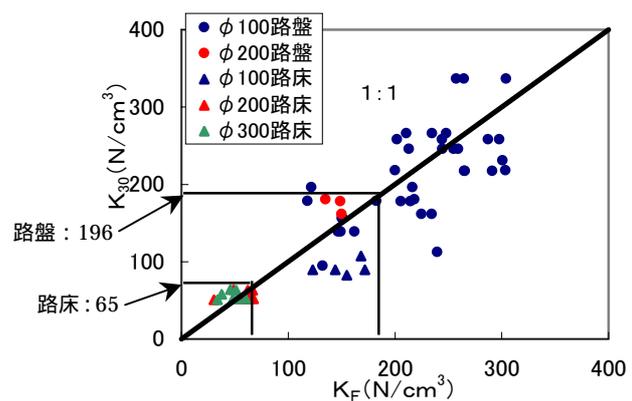


図 9  $K$  値の関係 (内挿のみ)

この図から相関係数は 0.856 と高い相関が得られた。このことから、データの処理には内挿を用いる必要があるといえ、測定も値も内挿法で用いるデータが得られるような方法をとらなければならないと考えられる。

### (4) 測定方法の提案

これまでの結果をもとに小型 FWD の迅速さを生かすため、4 つの地盤に対し、最も適した載荷板直径と落下高さを提案する。

・ 載荷板直径の検討

図 9 は路床、路盤、載荷板直径別に区分を行っており、4 つの地盤の境界値をあてはめている。この図から、4 つの地盤に対する載荷板直径を求めた（表 7 参照）。

・ 落下高さの検討

まず、図 9 から、4 つの地盤ごとに内挿を行った際に用いたデータの採取を行う。また、2.2 より、同一地盤上でもバッファの違いによって落下高さが異なることが分かっている。このことから、採取したデータを載荷板、バッファ別に分け、落下高さを調査し、平均値を求める。また、小型 FWD 本体に 25mm 間隔で目盛りがあることから、平均値に近い目盛りの値とした（表 7 参照）。

表 7 載荷板直径、落下高さの提案

| 地盤       | 載荷板直径<br>(mm) | バッファ | 落下高さ<br>(mm) |
|----------|---------------|------|--------------|
| 支持力の低い路床 | 200           | 細型   | 200          |
|          |               | 丸型   | 100          |
|          | 300           | 細型   | 300          |
|          |               | 丸型   | 300          |
| 支持力の高い路床 | 100           | 細型   | 200          |
|          |               | 丸型   | 150          |
|          | 200           | 細型   | 250          |
|          |               | 丸型   | 200          |
| 支持力の低い路盤 | 100           | 細型   | 100          |
|          |               | 丸型   | 400          |
|          | 200           | 細型   | 400          |
|          |               | 丸型   | 350          |
| 支持力の高い路盤 | 100           | 細型   | 150          |
|          |               | 丸型   | 100          |

道路舗装に用いられる路床・路盤材料はおおむね決まっている。そのため、これらの値を用いて 1 回目の測定を行うことで、変位  $F$  に近い値が得られる。このことから 4 つの地盤対

し、以下の測定方法を提案する。

表 8 を参考に 1 回目の測定を行う。

上記の によって得られた変位を参考に変位  $F$  を挟むように落下高さを決め、2 回目の測定を行う。

によって得られたデータを用い内挿によって、変位  $F$  時の荷重強さを求める。

の値を用いることで精度の高い地盤支持力係数  $K_F$  が得られる。

4. 結論

本研究の目的は、路床・路盤の構造評価に小型 FWD を用いることが検討されているが、その測定方法、データの処理方法、結果の評価方法に不明な点が多いことから、これらを明らかにすることであった。

- ・ 小型 FWD の装置条件であるバッファ、載荷板直径、落下高さが測定結果に及ぼす影響を明らかにした。
- ・ 小型 FWD 試験の測定結果が、平板載荷試験の結果と高い相関が得られるような小型 FWD の測定方法、データの処理方法を提案した。

参考文献

- 1) 鴨智彦、関根悦夫、阿部長門、丸山暉彦：FWD を用いた盛土の剛性評価方法、土木学会舗装工学論文集 第 4 巻 pp.47 - 52、1999.
- 2) 関根悦夫、桃谷尚嗣、久保寺貴彦、姫野賢治：小型 FWD に関する衝撃解析、土木学会第 56 回年次学術講演会、pp.114 - 115、2001.
- 3) 塚本真也、佐藤研一、吉田信夫、出利葉敦、田中秀明：小型 FWD により求められる  $K$  値に及ぼす載荷板半径の影響、土木学会第 56 回年次学術講演会、pp.106-107、2001.