

タイトル	載荷板の使用におけるK値評価に及ぼす因子に関する考察
著者	上浦, 正樹
引用	北海学園大学学園論集, 128: 23-28
発行日	2006-06-25

# 載荷板の使用における K 値評価に及ぼす 因子に関する考察

上 浦 正 樹

## 1 はじめに

鉄道、道路や滑走路などの地盤上の線状構造物では地盤の上部に線路やアスファルト舗装、コンクリート舗装が敷設される。この地盤の良し悪しが、これらの上部の構造物におけるメンテナンスコストを左右する。そこで地盤の支持状態を評価する方法として一般的には平板載荷や FWD など装置によって地盤の剛性評価が行われる。この指標として K 値が使用されている。交通荷重の大きさによって地盤が支持する影響範囲が異なるが、この範囲に適応するために平板載荷や FWD など装置に使用される載荷板の大きさが異なる。理論的には K 値は載荷板の径の比を用いることで径も異なる載荷板で求めた K 値の関係が明らかになっている。しかし、深さ方向に一樣な地盤であっても経験的に載荷板の径の比よりも小さいな換算係数を用いているが、この合理性について研究している事例はほとんどない。

## 2 K 値を用いた地盤の剛性評価

舗装構造では地盤や路盤の剛性を確保することは、その上層にある舗装体の寿命に大きく関係する。そこでいままで地盤等の剛性を評価する方法が多く検討され、実用化されてきている。その種類を大別すると破壊試験と非破壊試験がある。破壊試験の主なものに現場 CBR 試験がある。この方法は地盤が最悪に近い状態での地盤の耐力を推定するものである。よって工学的な意味はあるが破壊試験であることから試料採取に限りがある。非破壊試験として従来から確立しているものに平板載荷試験がある。この方法は段階を追って載荷していくもので一般的によく用いられている方法である。この方法は載荷版をセットし、反力を支える反力フレームが必要となる。このため大掛かりな装置となっている。ここで、道路舗装に用いられている載荷板の直径 30 cm で評価される K 値を  $K_{30}$  値と呼ばれる。また空港舗装では自動車交通よりも輪荷重が大きいのでこれに対応するため載荷板の直径 75 cm のものが使用されており、この装置で評価される K 値を  $K_{75}$  値と呼ばれる。

載荷板の大きさと K 値の関係について述べる。弾性論によれば式 1 が成り立つ。

$$E = \frac{\pi p r (1 - \nu^2)}{2 \delta} \quad (1)$$

ここで  $E$  : 弾性係数 ( $\text{kN/m}^2$ ),  $p$  : 載荷圧 ( $\text{kN/m}^2$  : 載荷荷重を載荷板面積で除したもの),  $r$  : 載荷板の半径 (m),  $\nu$  : ポアソン比,  $\delta$  : たわみ (m) である。

また  $K$  値は式2で定義されている。

$$K = \frac{p}{\delta} \quad (2)$$

式(1)と式(2)から  $K$  値と弾性係数の関係が導くことができる。

$$K = \frac{E}{r} \times \frac{2}{\pi(1 - \nu^2)} \quad (3)$$

この式から弾性論で導かれる  $K$  値は対象となる地盤の弾性係数  $E$  やポアソン比  $\nu$  が一定値として載荷半径  $r$  に反比例して小さくなる傾向を示す。しかし、後で述べるように載荷板の端部では地盤が乱れそのため載荷板がより大きい方がその影響を受けないことは想定される。つまり載荷板が大きくなると弾性論で得られる反比例して  $K$  値が小さくなる傾向よりもその傾向が弱まることが推定される。

ここで道路の平板載荷で使用される載荷板の直径 30 cm で得られる  $K$  値 ( $K_{30}$ ) と空港舗装で使用される載荷板の直径 75 cm でえられる  $K$  値 ( $K_{75}$ ) を比較すると  $K_{75}$  は弾性論で導かれる結果から  $K_{30}$  に対し  $75/30=2.5$  だけ除した値が想定されるが、地盤調査法では現場の試験データを踏まえて 2.2 で除した値を推奨している<sup>1)</sup>。

このような点から本研究では、端部の影響を考慮する方法を試験結果と FEM 解析を基に検討しその結果から  $K$  値推定に及ぼす端部の影響を理論的に解明することとする。

### 3 剛性載荷と載荷端部の影響

粘性土地盤では剛性載荷によって端部に大きな圧力が発生する。この影響は既往の基礎に関する研究で明らかになっている<sup>1)</sup>。これが載荷板と地盤の関係でなりたつかについて検討する。弾性論においては端部に無限大の応力は発生することになる。実際は無限大に到達する前に一部が塑性変形して大きな応力が発生することになる。それは土圧計を地盤内に設置し、地盤上に載荷する方法である。実験によって確認する。また FEM 解析でも剛性載荷板を粘土地盤に載荷する条件でメッシュを作成し、載荷のよって発生する応力とたわみを検討する。

## 4 実験方法

### 4.1 準備

本実験では  $1\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m}$  の土槽の底部に土圧計を設置し、その上に砂質粘土を層厚が 5 cm となるように突固めを行った。突固めの状態は小型 FWD を用いて載荷しその時のたわみを

測定することにより、突固めの程度が一定となるように管理した。その結果、各層の弾性係数が 120~150 MPa となった。また現場の試料採取などにより

含水比は 20% 現場密度試験により突固めた地盤の湿潤密度は  $1.63 \text{ g/cm}^3$  であった。

土圧計 (100  $\phi$ , 容量 500 kPa) を用い、設置位置は載荷点直下と載荷点中央から土圧計中央までの間隔を 30 cm とした。

平板載荷装置は室内に設備された反力フレームにセットされた。載荷板の直径 30 cm を用い、最大載荷荷重 100 kN を使用した。変位計は載荷点中心音から 20 cm の左右 2 箇所測定し、その平均を載荷点のたわみとした。

#### 4.2 載荷試験

載荷板を安定させるために予備載荷  $\Delta P$  (35 kN/cm<sup>2</sup> 程度) を行い、除荷してから本載荷を行った。本載荷では  $\Delta P$  ずつ段階載荷を行いそのときのたわみを求めた。

載荷板と地盤の間に圧力紙を挿入し、載荷面の圧力分布を求める。この圧力紙は  $1.4 \text{ mm}^2$  のメッシュごとに最大 0.8 MPa で 0 から最大値まで 255 段階の測定が可能である。この試験で得られた圧力紙を数値化処理して地盤上に作用する載荷板の圧力分布を推定する。

### 5 FEM 解析

載荷板 (直径 30 cm, 厚さ 2 cm) を考慮して、均一地盤におけるメッシュを作成した<sup>2)</sup> (図 1)。載荷荷重は 10 kN とし、直径 16 cm のロッドを介して載荷板に伝える構造を模擬した。

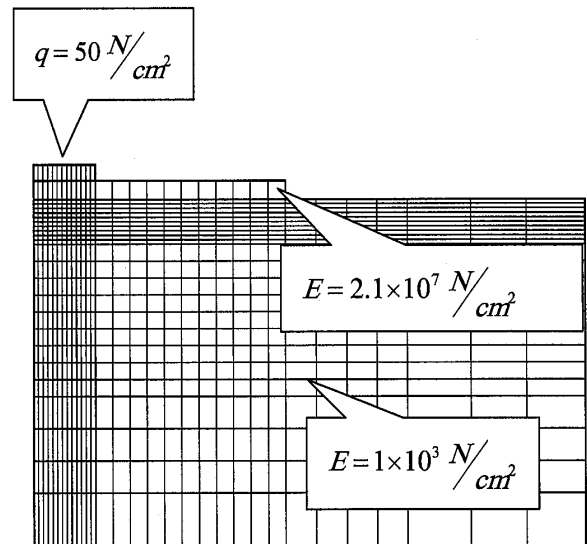


図 1 メッシュの作成例と弾性係数

### 6 実験結果

本試験で使用した砂質粘性土地盤と直径 30 cm の載荷板の間に圧力紙を敷き、載荷荷重 20 kN で載荷した。この地盤の  $K_{30}$  値は  $180 \text{ MN/m}^3$  であった。

圧力紙を用いて数値化した圧力の画像を図 2 に示す。この事例から縁端部に最も大きな圧力が作用していることがわかる。この圧力分布図を数値化し、最大値を含み中心を通り直径とな

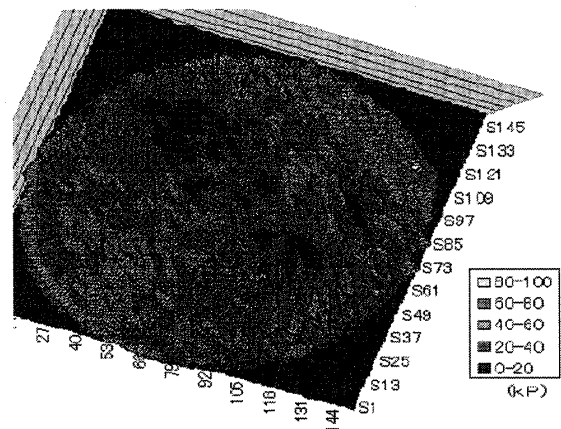


図 2 接地圧力の分布

る線で圧力分布図を作成した例を示す(図3)。

図2と図3の図により、剛体載荷では載荷面で一様の載荷しているのではなく縁端部で圧力が大きくなっていること箇所があることが確認された。

つぎに土圧計を用いて測定した結果を図4に示す。この図は深さ5cmから30cmまでの土圧を5cm間隔で測定した結果である。最上部は深さ5cmの土圧を示している。この図で土圧計は-30cm, 載荷展直下である0cm, 20cmに設置されている。

この測定結果から直下よりも縁端部に近い方の土圧が大きいことを示している。

この影響がK値では載荷点直下のたわみは剛性載荷のため一定であるが、載荷荷重は載荷点直下の応力から推定するため縁端部の圧力の影響を過小に評価することに、K値は小さくなる傾向を示すことになる。

この結果を図3に基づき考察する。

図3の断面での接地圧を平均すると0.19MPaである。一方載荷中心での接地圧はほぼ0.17MPaである。その結果、載荷中心のたわみが載荷板のたわみと仮定すると縁端部の反力がない場合と比べK値は載荷圧力(接地圧)は見かけ上の低減率  $D_{ratio} = 0.17/0.19 = 0.895$  倍となる。

ここで載荷板の径が75cmでは径が30cmのものとは比べ縁端部の影響が無視できるものと考えるとたわみを同一と仮定する<sup>3),4)</sup>と

$$K_{ratio} = \frac{K_{30}}{K_{75}} = \frac{p_{30}}{d} \times \frac{d}{p_{75}} = \frac{p_{30}}{p_{75}}$$

ここで見かけの低減率D ratioを用いると次式となる。

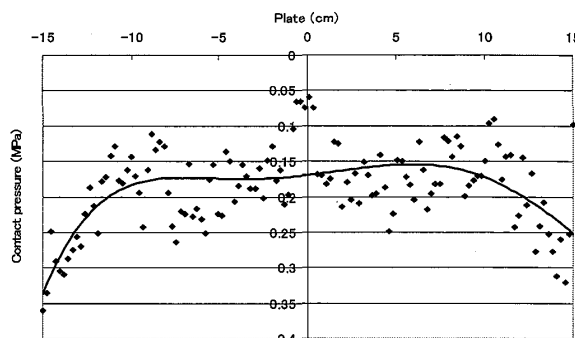


図3 載荷板の圧力分布

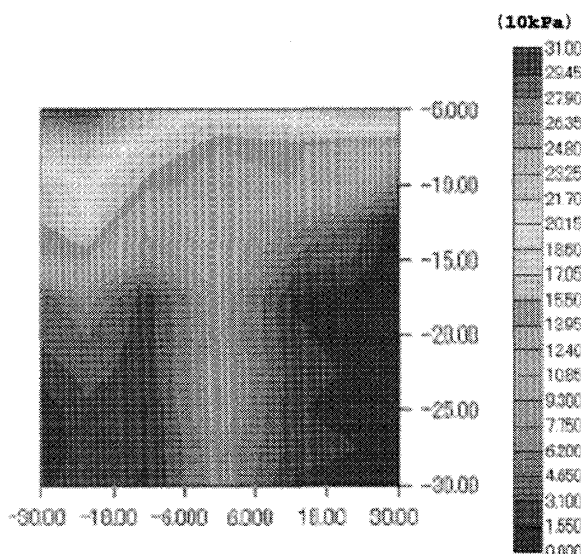


図4 コンター図(土槽内)

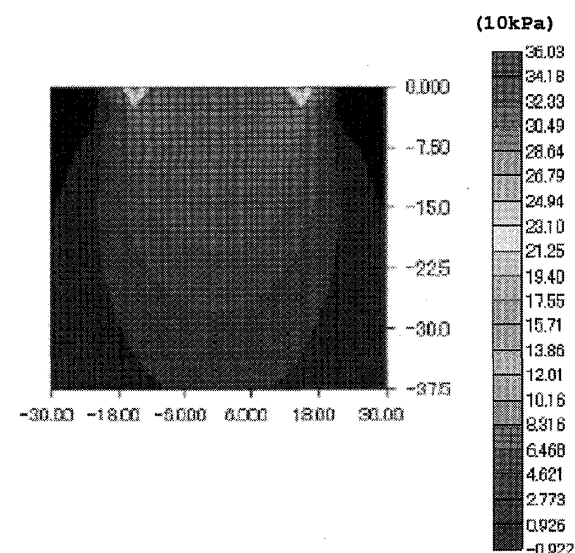


図5 コンター図(FEM解析結果)

$$Kratio = \frac{p_{30}}{p_{75}} = \frac{r_{75}}{r_{30}} \times Dratio = 2.5 \times 0.895 = 2.2$$

以上から縁端部の有無が K 値の比 (K ratio) に与える影響を明らかにすることができた。

## 7 FEM 解析結果

地盤の弾性係数  $10 \text{ kN/cm}^2$  とし, 載荷荷重の弾性係数  $2.1 \times 10^7 \text{ N/cm}^2$  とし,  $20 \text{ kN}$ , 載荷板

の直径  $30 \text{ cm}$  における解析結果を図 4 に示す。この結果からも縁端部に近くで圧力が集中していることが分かる。これは弾性解を使用して縁端部の応力集中を推定することが可能であることを示している。

## 8 K 値に対する載荷板の径の違いが与える影響

弾性地盤を想定して厚さ  $10 \text{ cm}$  のゴム板を用いて小型 FWD により載荷したわみを測定した。この際に用いた載荷板の径は  $10 \text{ cm}$ ,  $20 \text{ cm}$ ,  $30 \text{ cm}$  の 3 種類である。縁端部の影響が K 値の推定に影響することを考慮するために同一たわみに対する載荷荷重を求め, K 値を推定することとした。この結果たわみ量は  $0.4 \text{ mm}$ ,  $0.5 \text{ mm}$ ,  $0.6 \text{ mm}$  に対応する K 値を求めた (図 6)。この図では載荷板の径が  $10 \text{ cm} \sim 30 \text{ cm}$  の 3 種類であり, 選択した 2 種類の径について径の比 (R ratio) と K 値の比 (K ratio) を求め, それぞれ組み合わせて図にしたものである。これらのデータに基づき推定式は以下の通りとなった。

$$y = 1.1x - 0.05 \quad (R^2 = 0.99)$$

載荷板の径が  $75 \text{ cm}$  と  $30 \text{ cm}$  の 2 種類の K 値の比は理論上では半径の比である  $2.5$  とされているが,<sup>5),6),7)</sup> 実験に基づくこの図では  $2.5$  よりも小さいことが認められる。

## 9 結 論

以上から道路の平板載荷で使用される載荷板の直径  $30 \text{ cm}$  で得られる K 値 ( $K_{30}$ ) と空港舗装で使用される載荷板の直径  $75 \text{ cm}$  でえられる K 値 ( $K_{75}$ ) を比較すると  $K_{75}$  は弾性論で導かれる結果から  $K_{30}$  に対し  $75/30 = 2.5$  だけ除した値が想定されるが, 地盤調査法では現場の試験データを踏まえて  $2.2$  で除した値を推奨している。この要因の一つに縁端部の影響があることを本研究で明らかにした。

## 参考文献

- 1) E. G. Bell. 2004. *Engineering Geology and construction*, Spon Press. New York
- 2) Dong, Q., Matsui, K., Hachiya, Y. and Tsubokawa, Y., 2003. *Efficient finite element and*

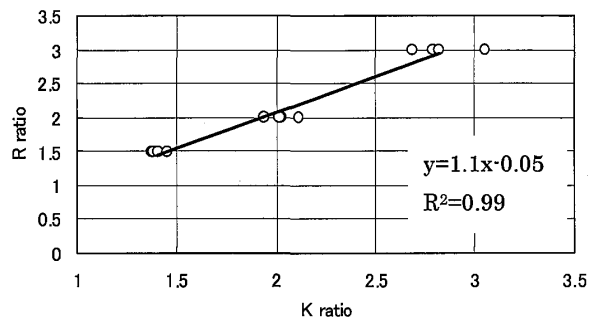


図 6 載荷板の径と K 値の比の関係

- sensitivity analyses of elastic multi-layered systems subjected to dynamic loads.* Journal of Structural Mechanics and Earthquake Engineering, JSCE, No.731/I-63, 247-255.
- 3) Gurr, C., Groenen, J. and Beuving, E., 2000. *Experience with various types of foundation tests.* Proceedings of the 5th International Symposium on Unbound aggregates in roads, Nottingham, UK.
  - 4) Himeno, K., Maruyama, T., Abe, N., Hayashi, M., 1990. *The use of FWD deflection data in mechanistic analysis of flexible pavements.* Proceedings of the 3rd International conference on BEARING CAPACITY OF ROADS AND AIRFIELDS, Trondheim, Norway.
  - 5) Kamiura, M. and Nakayama, S., 2004. *Application of acceleration measurement method for estimating the elastic stiffness of unbound aggregates in roadbed.* Proceedings of the 6th International Symposium on Unbound aggregates in roads, Nottingham, UK.
  - 6) Kamiura, M., Sekine, E., Abe, N. and Maruyama, T., 2000. *Stiffness evaluation of the subgrade and aggregates using the portable FWD.* Proceedings of the 5th International Symposium on Unbound aggregates in roads, Nottingham, UK.
  - 7) Richart, F. E., Hall, J. R. and Woods, R. D., 1970. *Vibrations of soils and foundations*, Prentice-Hall, Inc.