

タイトル	地盤剛性評価に与える載荷条件の影響に関する研究
著者	上浦，正樹
引用	北海学園大学工学部研究報告，36：31-38
発行日	2009-02-20

地盤剛性評価に与える載荷条件の影響に関する研究

上 浦 正 樹*

Influence of Loading Speed for Evaluation of the Stiffness of Ground Soil

Masaki KAMIURA*

1 はじめに

道路や鉄道の敷設に必要となる地盤の剛性評価方法には平板載荷などの静的載荷による方法とFWDを用いた動的載荷による方法がある．地盤を構成する材料は粘土，砂，礫のように土粒子の粒径が異なり，そのために土構造物の剛性評価では従来の静的載荷方法と動的載荷方法の間に換算係数 γ が実験的に求められており¹⁾，実用化されている．しかし，この実用化された換算係数の根拠については未だに明らかになっていない．これは土のような粒状体に剛性の載荷板が作用する場合，縁部では中央部と比較して応力の集中することが予測される²⁾．この現象に対して静的載荷では地盤表面が弾性的に挙動する傾向が考えられるが，動的載荷では縁部において急激な鉛直応力の発生で部分的な破壊が発生し中央部の応力が増加することが考えられる³⁾．その結果静的載荷と動的載荷に地盤内の鉛直応力の発生状況が異なることが考えられる．以上から本研究では地盤材料の典型的なものとして粘土，砂，礫の3種類を選び，それぞれの地盤を構成した．この地盤についてそれぞれの表面の接地圧を測定し，土の種類と載荷条件の違いによって発生する接地圧の分布を求めることとした．また，地盤内応力を測定し，土の種類の違いが載荷板を介して地盤内に伝播する鉛直応力にどのように影響を与えるかを観察することとする．以上の結果から従来から用いられている換算係数 γ の意味について考察することとした．

2 試験地盤

使用した3種類の土（粘土，砂，礫）の性状として粒度，含水比，湿潤密度，乾燥密度を表

* 北海学園大学工学部社会環境工学科

* Department of Civil and Environment Engineering, Hokkai Gakuen University

表1 使用した土の性状

		Clayey silt	sand	gravel
Grain size distribution		silt : 81% clay : 19%	gravel : 2 % sand : 98%	gravel : 100%
Water content	%	25	17	2
Wet density	g/cm^3	1.66	1.65	1.65
Dry density	g/cm^3	1.33	1.30	1.30



Figure 1 Test pit (gravel)

1に示す.

試験地盤の製作にあたっては、現場地盤を模擬した土槽（ $1\text{ m} \times 1\text{ m} \times 0.6\text{ m}$ ）に深さ70cmになるまで現地盤の土を投入して締固め、 $K30$ 値が 110 kN/m^3 以上を確保しているか小型FWDを用いて確認した．この表面から各地盤の土を厚さ20cmとなるように入れて締固めた（Figure 1）．

3 試験方法

3.1 載荷方法

粘土，砂，礫の各地盤に静的載荷である平板載荷（Figure 2）と動的載荷である小型FWD（Figure 3）を用いて，静的載荷と動的載荷の違いについて検討する．その際に載荷するうえで共通の指標として載荷による表面の鉛直方向のひずみを同じとすることとした．また，平板載荷と小型FWDの比較をする上で条件を同じとするために各地盤では同じ直径の載荷板を使用することとした．その結果，粘土と砂では載荷板の直径は30cmを用い変位量を1.25mm，礫では20cm載荷板を用い，変位量は0.848mmを基準とした．



Figure 2 Plate Bearing Test



Figure 3 Portable FWD

3.2 接地圧の測定方法

半径15cmの載荷板の内部に圧力計を埋め込み、載荷時の圧力分布を測定することとした。ここで使用した圧力計の仕様は次の通りである。(直径6.5mm, 厚さ1mm, 質量0.1g 最大容量1MPa.)

この圧力計を載荷点直下1箇所, 載荷点中央から6cmに3箇所, 12cmに3箇所, 13cmに3箇所を1/4円内に同心円上に等間隔に接地したものである (Figure 4)。

4 測定結果

4.1 K30値

土槽内に設置された土圧計の直上に表面の5箇所で載荷板を置き, その地点で載荷し変位を求めることで, 平板載荷と小型FWDのよるK値を求めた。この結果から土の種類によってK値が異なることが明らかになった。これは静的載荷と動的載荷であるそれぞれの載荷条件が異なることによる。そこで動的載荷によるK値と静的載荷によるK値の比を求めた (Figure 5)。これの平均と標準偏差は粘土 1.0 ± 0.2 , 砂 1.4 ± 0.1 , 礫 2.2 ± 0.1 であった。

4.2 接地圧

円形載荷板を使用する場合には縁部に応力が集中し中央部では応力が小さくなる傾向がある。

実際の試験結果は次の通りである。

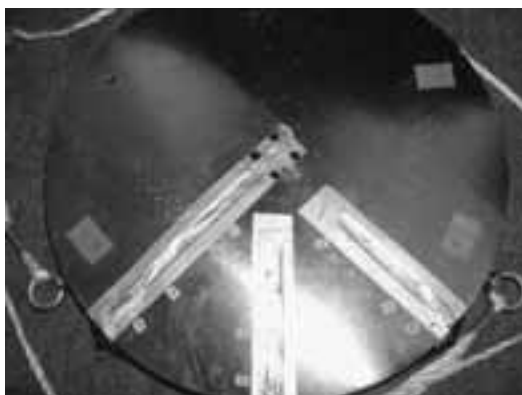


Figure 4 Loading plate with contact pressure gauges

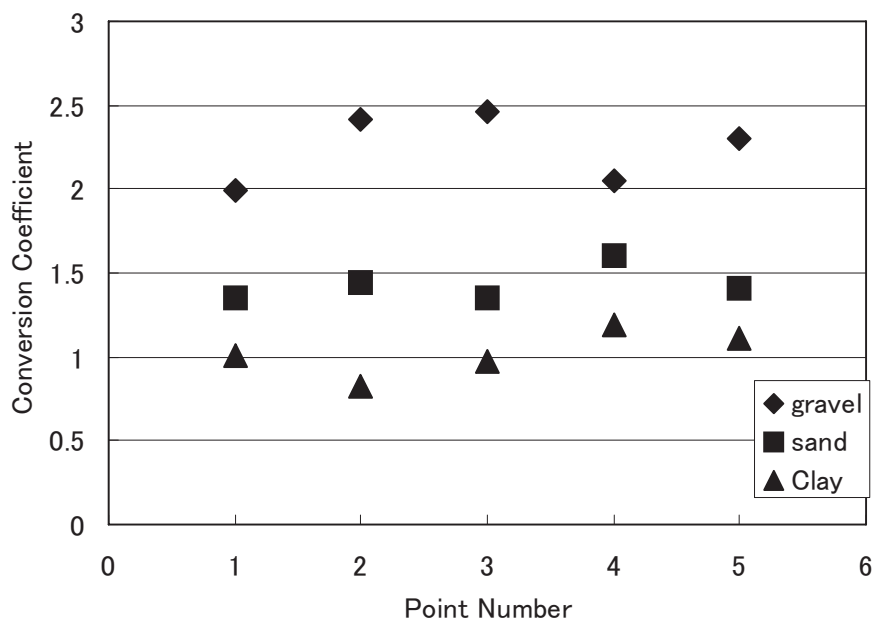


Figure 5 Conversion coefficient values in 3 types of test pits

(1) 粘土

平板載荷における接地圧では、データの平均とばらつきを求めたところ、端部の平均値293 kPa、標準偏差 σ 13.5kPa、中央部では平均値61.7kPa、標準偏差 σ 10.3kPaであった。これから端部の応力が大きく中央部で小さい傾向が見られた (Figure 6)。ここで太線は平均値を表す。その比は2.2であった。また小型FWDでは端部の平均値169.0kPa、標準偏差 σ 84.2kPa、中央部では平均値133.2kPa、標準偏差 σ 9.6kPaであった。これから端部の応力が大きく中央部で小さい傾向が見られた。その比は1.2であった。

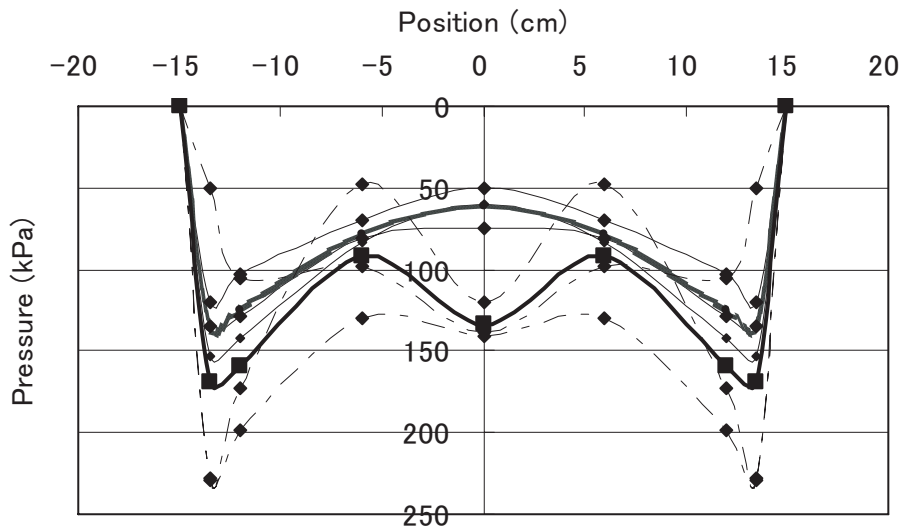


Figure 6 Contact pressure on clay ground

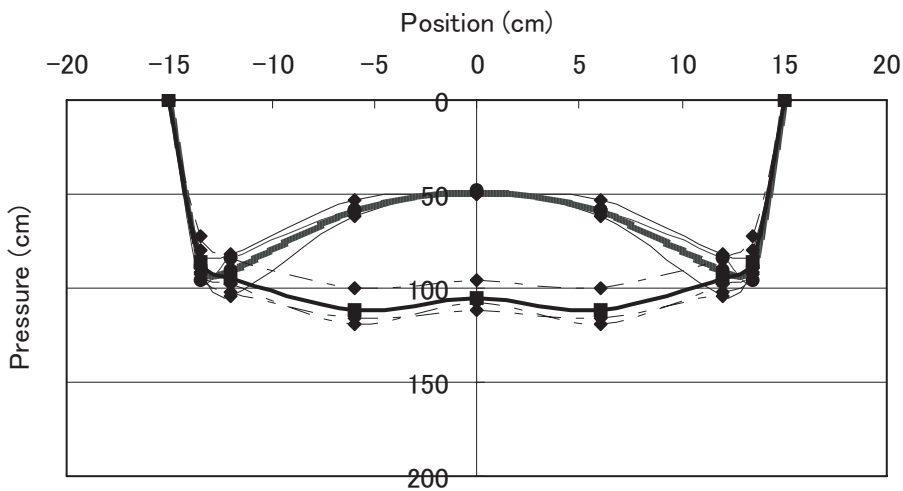


Figure 7 Contact pressure on sand ground

(2) 砂

平板载荷における接地圧では、データの平均とばらつきを求めたところ、端部の平均値88.4 kPa、標準偏差 σ 6.7kPa、中央部では平均値49.3kPa、標準偏差 σ 0.9kPaであった。これから端部の応力が大きく中央部で小さい傾向が見られた (Figure 7)。その比は1.8であった。また小型FWDでは端部の平均値107.2kPa、標準偏差 σ 11.2kPa、中央部では平均値131.3kPa、標準偏差 σ 8.4kPaであった。これから端部の応力が小さく中央部で大きい傾向が見られた。その比は1/1.2であった。

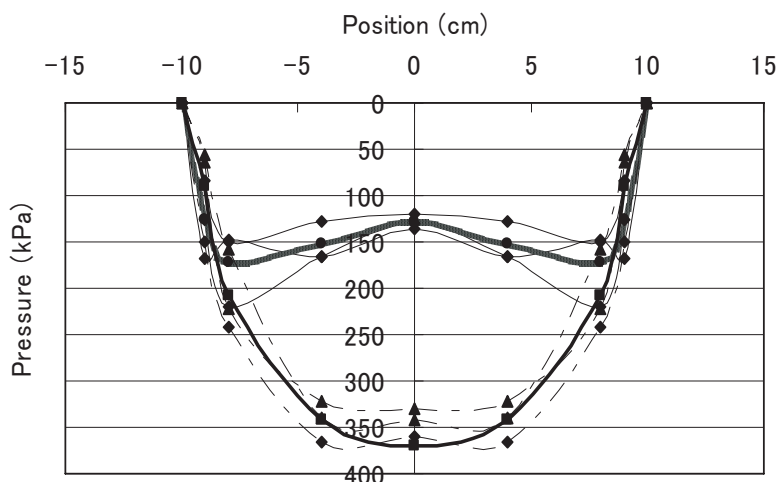


Figure 8 Contact pressure on gravel ground

(3) 礫

平板载荷における接地圧では，データの平均とばらつきを求めたところ，端部の平均値125.9kPa，標準偏差 σ 34.0kPa，中央部では平均値128.7kPa，標準偏差 σ 6.7kPaであった．これから端部と中央部が同じような値となる傾向が見られた (Figure 8)．また小型FWDでは端部の平均値89.7kPa，標準偏差 σ 42.8kPa，中央部では平均値370.0kPa，標準偏差 σ 12.6kPaであった．これから端部の応力よりも中央部でかなり大きな傾向が見られた．その比は1/4.1であった．

5 検討

(1) 接地圧分布から見る载荷状態

円形载荷板を用いて载荷する際の直接载荷板と地盤表面が接する場合には载荷板の剛性によって縁端部に応力が大きく中央部が小さい分布がみられる．これは剛体载荷とよばれる载荷状態である．一方载荷板と地盤表面に弾性材を挿入する場合はほぼ応力一定で地盤表面に载荷することになる．これがたわみ性载荷とよばれる载荷状態である．この状態は，古くはBussinesqの弾性理論から算定⁴⁾されている．

$$E = \frac{2ap(1-\nu^2)}{\delta} \times C \quad (1)$$

ここで，

E ：地盤の弾性係数 (MPa)

p ：载荷応力 (kPa)

ν ：ポアソン比

C ：载荷板の剛性係数 (剛性载荷では $\pi/4$ ，たわみ性载荷では1)

a : 円形載荷板の半径 (m)
 δ : 円形載荷板の表面沈下量 (mm)

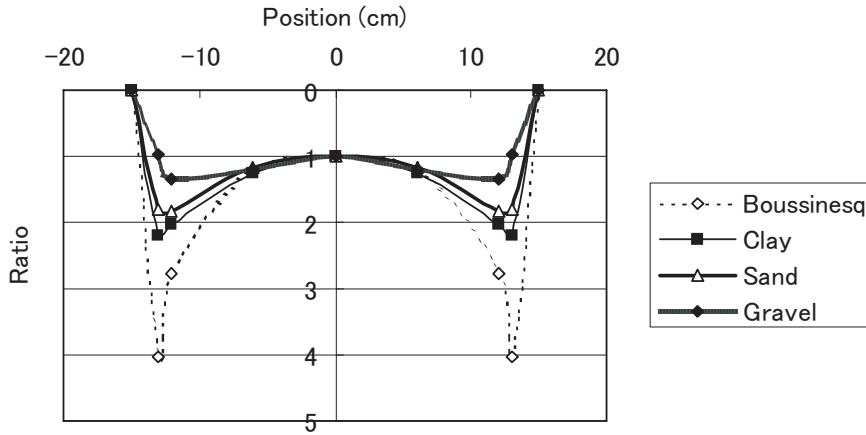


Figure 9 Comparison between theoretical and experiment results in plate bearing tests

そこで、静的載荷である平板載荷試験結果のデータを用いて粘土、砂、礫のそれぞれの地盤で測定された接地圧の分布から載荷板中央の接地圧を基準化した指標で比較した (Figure 9)。以上の結果から粘土や砂地盤では理論に近い弾性地盤に対する剛体載荷の分布を示しているが、土粒子の粒度が大きくなるにつれて礫地盤ではたわみ性載荷に近くなる分布形状をしている。これは縁端部において礫粒子が弾性体に見られる応力集中に耐えることがなく、結果として中央部の応力が増加したものと考えられる。この傾向は動的載荷である小型FWDでは顕著に現れ、礫地盤よりも粒度の小さい砂地盤においてたわみ性載荷に近くなる分布形状を示しており、さらに粒度の大きな礫地盤では縁端部での接地応力が無くなり、中央部に応力が集中する傾向を示している。

(2) 中央部の応力状態

動的載荷の礫地盤のように中央部に応力が集中してくると全体として載荷荷重が増加している。これは直径300mmの載荷板では変位を1.25mm、直径200mmの載荷板では0.83mmと載荷板直下の地盤表面のひずみレベルを一定にすることに起因している。そこで静的載荷と動的載荷のそれぞれ接地圧を積分し、その比を求めた (Figure10)。この結果と載荷荷重での比 (Figure 5) とほぼ同じ傾向を示している。

6 まとめ

従来から地盤表面に静的載荷をすることで得られる地盤剛性値と動的載荷をすることで得られる地盤剛性値とは地盤を構成する土の種類によって異なることが明らかになっているが、そ

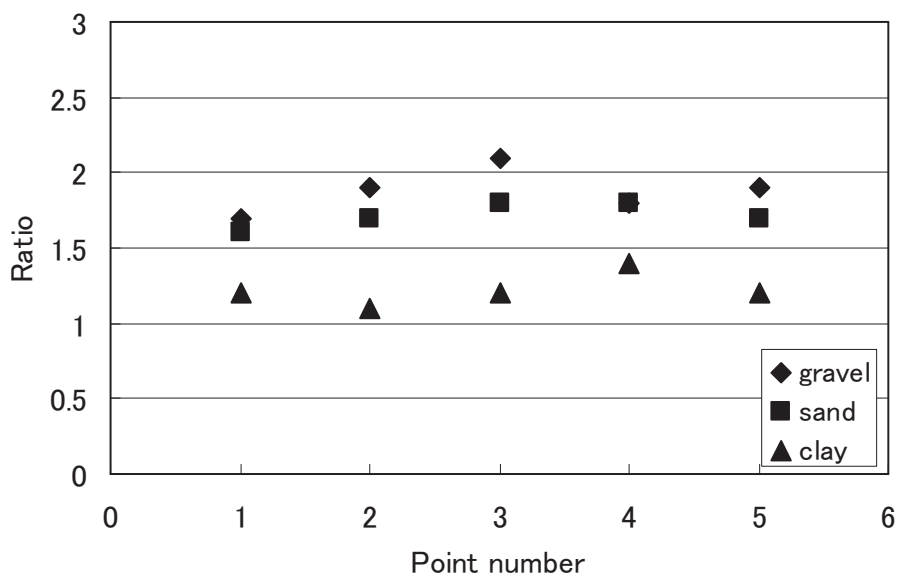


Figure 10 Influence by stress concentration on the loading plate

の原因が明確にならないまま，簡易な動的載荷試験（小型FWD）から得られる地盤剛性値から換算係数 γ を用いて手間と労力のかかる静的な載荷試験（平板載荷試験）を行ってきている．本研究では地盤に土の違いが載荷板と地盤表面で接する接地圧の分布に影響を与えることがあきらになった．

【参考文献】

- 1) 土木学会舗装工学委員会：FWDおよび小型FWD運用の手引き，土木学会舗装工学ライブラリー 2 2002. 12
- 2) 最上武雄編：土質力学 技報堂 1969.8 pp224-225
- 3) 赤井浩一ら：フローリンの土質力学 第I巻 1969.9 pp324
- 4) 山口柏樹：土質力学技報堂 1969.9 pp168-169