

地盤反力係数に関する実験的研究 (その2)

—形状効果について—

金谷 祐二 秋野 矩之
茶谷 文雄

Experimental Study on Coefficient of Subgrade Reaction (Part 2)

—Shape Effect—

Yuji Kanatani Noriyuki Akino
Fumio Chatani

Abstract

The coefficient of subgrade reaction which is hereafter called k-value in this report, is a complicated function of strain level of soils, loading speed, size and shape of base, etc. The authors performed a series of plate loading tests on the Musashino Loam Layer and studied the relation between k-value and the above influencing factors. This report is concerned with the shape effect in these studies following the scale effect discussed in Part 1.

The test results show the features below. (1) The yield load intensity P_y of the soil, and the settlement of the loading plate at P_y is constant regardless of the plate shape. (2) The relation between k-value and load intensity changes distinctly at boundary point P_y . However, on separating the relation into high- and low-load ranges, a rule exists between k-value and load intensity in either load range regardless of the plate shape. (3) The k-value of a rectangular plate is larger than the values of circular and square plates, and increases with increasing ratio of major side length to minor side length. In addition, the k-values of the circular and square plates are nearly equal.

概 要

地盤反力係数、(以後、k 値と呼称する)は、ひずみレベル、載荷速度、および基礎底面の面積・形状等によって変化する複雑な関数である。筆者らは、昭和50~53年に、武蔵野ローム層において一連の平板載荷試験を実施し、k 値とこれらの因子との相関関係について調査した。この報告は、上記の調査のうち形状効果に関するものである。なお、面積効果については既報⁸⁾で報告した。調査結果から以下の点が判明した。(1)地盤の降伏荷重 P_y 、および P_y に達したときの載荷板の沈下量は、載荷板の形状に関係なく一定である。(2)k 値~荷重の関係は、 P_y を境として明確に変化する。そしてこの関係を低荷重域と高荷重域に分けてみると、k 値と荷重の間には、載荷板の形状に関係なく、各荷重域でそれぞれ一定の法則が成立する。(3)長方形載荷板の k 値は、荷重度をパラメータとしたとき、円形および正方形載荷板の k 値より大きく、また、長方形の辺長比(長辺/短辺)の増大にともなって増加する傾向が認められた。なお、円形と正方形載荷板の k 値の間には、有意な差が認められなかった。

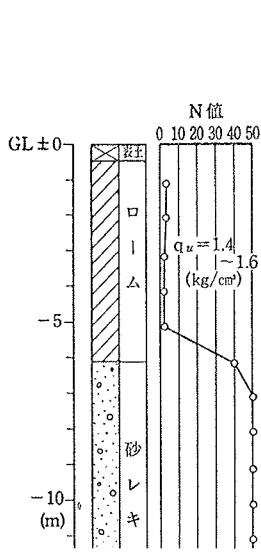
1. はじめに

地盤反力係数、k 値は、地盤固有の値ではなく、同一地盤であっても、地盤のひずみレベル、載荷速度、基礎底面の面積および形状等によって変化する複雑な関数である。筆者らは、k 値とこれらの因子との相関関係を定量的に把握することを目的として、東京都清瀬市の武蔵野ローム層上において一連の平板載荷試験を実施した。

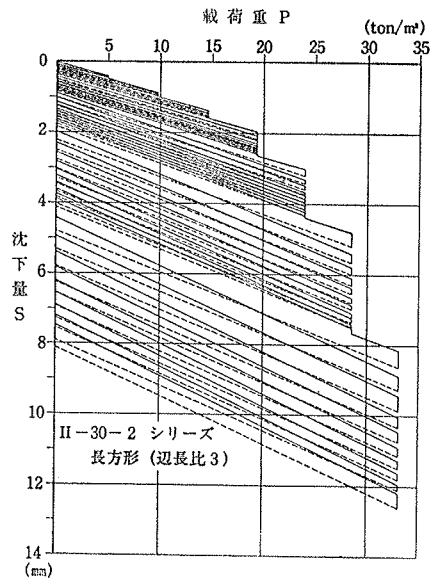
この報告は、前記の実験報告の(その2)で、主として載荷板の形状効果について調査した結果に関するものである。なお、既報(その1)⁸⁾では、面積効果に関する調査結果を報告している。

2. 実験概要

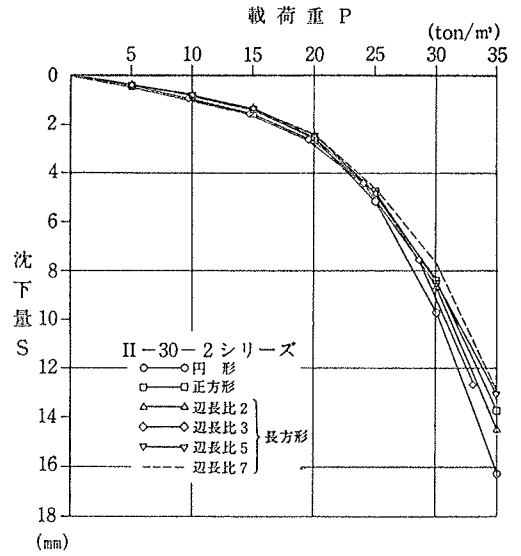
試験地点付近の地盤は、図-1に示すように、上部が武蔵野ローム層、下部が段丘レキ層の典型的な二層系地



図一 土質柱状図



図二 荷重度～沈下量曲線



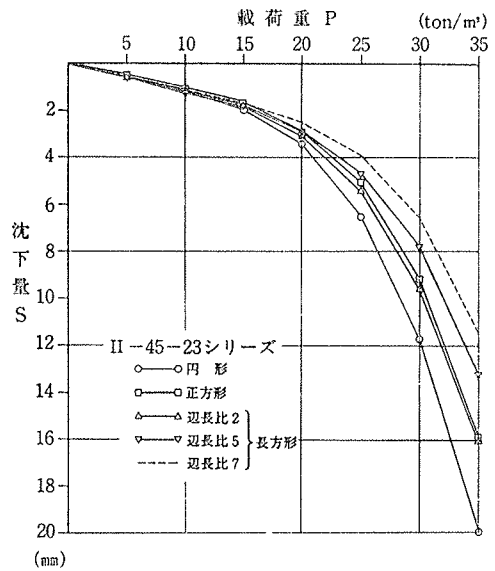
図三 荷重度～沈下量曲線の比較

盤である。地下水は、G.L. -15 m の調査深度の範囲内で確認されなかった。形状効果に関する平板載荷試験は、面積効果の試験終了後、地盤をさらに 1.5 m 程度掘削し、G.L. -2.5 m 付近の武蔵野ローム層の地山に対して行なった。使用した載荷板は、表一に示すように、面積に関しては 900 cm² (30 cm 角相当)、および 2,025 cm² (45 cm 角相当) の 2 種類、形状に関しては 6 種類 (円形、正方形、長方形 4 種) の計 12 種類である。なお、長方形載荷板は剛板として扱えるよう、H 鋼を補強したものを使用した。この報告では、面積 900 cm² の載荷板を用いて行なった試験を II-30 シリーズ、面積 2,025 cm² の載荷板の試験を II-45 シリーズと呼称することにした。各シリーズとも、地盤のバラツキを考慮し、試験を 2 回ずつ行なったので、何回目の試験であるかをシリーズ名の後に番号を付して示した (ex. II-30-1; II-30 シリーズの 1 回目の試験)。

試験はすべて急速繰返し載荷法によって行なった。ここでいう、急速繰返し載荷法とは、図二に示すように、ゼロ荷重と所定荷重の間で載荷を繰返ししながら順次荷重を上げていく方法である。試験方法の詳細、および載荷装置については既報⁹⁾を参照されたい。

3. 実験結果と考察

荷重度～沈下量曲線の一例として、II-30-2 シリーズの長方形載荷板 (辺長比 3) の試験結果を図二に示した。また、II-30 シリーズ、および II-45 シリーズにおける各載荷板の荷重度～沈下量曲線の比較をそれぞれ図三、4 に示した。これらの曲線は、各荷重階の最終ループの沈下量をプロットしたものである。なお、図四の長方形載荷板 (辺長比 3) の実験結果は、局所的な



図四 荷重度～沈下量曲線の比較

| | 形状 | 辺長比 | 短辺 | 長辺 | 高さ(厚さ) | 面積 |
|---------------|-----|--------|-------------|---------|----------|----------------------|
| II-30 シリーズ | 円形 | - | 33.9cm(直径) | | (2.5) cm | 900cm ² |
| | 正方形 | 1 | 30cm(一辺の長さ) | | (2.5) cm | |
| | 長方形 | 2 | 21.2cm | 42.4cm | 10cm | |
| | | 3 | 17.3cm | 52.0cm | 10cm | |
| | | 5 | 13.4cm | 67.1cm | 15cm | |
| | 7 | 11.3cm | 79.4cm | 15cm | | |
| II-45 シリーズ | 円形 | - | 50.8cm(直径) | | (3.5) cm | 2,025cm ² |
| | 正方形 | 1 | 45cm(一辺の長さ) | | (3.5) cm | |
| | 長方形 | 2 | 31.8cm | 63.6cm | 35cm | |
| | | 3 | 26.0cm | 77.9cm | 35cm | |
| | | 5 | 20.1cm | 100.6cm | 35cm | |
| | 7 | 17.0cm | 119.1cm | 35cm | | |

表一 載荷板

地盤の乱れの影響により、沈下量が異常に大きくなったので削除した。図一3, 4によると、各載荷板の荷重度～沈下量曲線は接近しており、全体的に形状による顕著な差はみられない。しかしながら、同一荷重度における各載荷板の沈下量を詳細に比較すると、低荷重域における沈下量の差は非常に小さく、明確な傾向は判別できないが、高荷重域では一定の傾向が認められる。すなわち、長方形載荷板の沈下量は、円形および正方形載荷板の沈下量より小さく、また、長方形の辺長比(長辺/短辺)の増加にともなって減少している。なお、円形と正方形載荷板の沈下量の間には、有意な差は認められない。

各載荷板の荷重度～沈下量の関係を両対数紙上にプロットし、図一5に示した。これによると、荷重度～沈下量曲線は、両対数紙上で折れ曲った直線となり、通常、降伏荷重度と呼称される折点の荷重度、およびそれらの直線の勾配は、載荷板の形状に関係なくほぼ一定になっている。すなわち、各載荷板の荷重度～沈下量曲線は、降伏荷重度 18 t/m² を境に、

$$\begin{aligned} \text{低荷重域では、べき関数 } S &= C_1 P^{n_1} \dots\dots\dots(1) \\ \text{高荷重域では、} S &= C_2 P^{n_2} \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

ここに、S: 沈下量
P: 荷重度

c₁, c₂, n₁, n₂: 定数

で表わされ、指数 n₁, n₂ は載荷板の形状に関係なく一定であることがわかる。本地盤では n₁ は約 1.1, n₂ は約 3.1 であった。また、図一5は、II-30-2 シリーズの実験結果であるが、他のシリーズの実験においても同様な結果を得ている。なお、既報⁸⁾ で述べたように、n₁, n₂ の値は載荷板の面積にも関係なく一定である。したがって、n₁, n₂ は、地盤固有の値であって、載荷板の面積・形状に関連なく一定であるということができる。

3.1. 降伏荷重度について

| 載荷板 | II-30-1 | | II-30-2 | | II-45-1 | | II-45-2 | |
|-----|-------------|-------------|--------------------|--------------------|-------------|-------------|--------------------|--------------------|
| | s~n法 1/m | s~n法 1/m | log p~n法 log n法 | log p~n法 log n法 | s~n法 1/m | s~n法 1/m | log p~n法 log n法 | log p~n法 log n法 |
| 円形 | 20~25 | 20~25 | 23.0 | 15~20 | 15~20 | 17.5 | 15~20 | 15~20 |
| 正方形 | 15~20 | 15~20 | 17.0 | 15~20 | 15~20 | 18.0 | 15~20 | 15~20 |
| 長方形 | 辺長比2 | 15~20 | 17.0 | 15~20 | 15~20 | 17.2 | 15~20 | 15~20 |
| | 辺長比3 | 15~20 | 17.5 | 15~20 | 15~20 | 18.5 | 15~20 | 15~20 |
| | 辺長比5 | 15~20 | 17.5 | 15~20 | 15~20 | 17.0 | 15~20 | 15~20 |
| | 辺長比7 | 15~20 | 18.5 | 15~20 | 15~20 | 18.0 | 15~20 | 15~20 |
| | 18.0 | 15~20 | 15~20 | 15~20 | 15~20 | 15~20 | 15~20 | 15~20 |

表一2 降伏荷重度

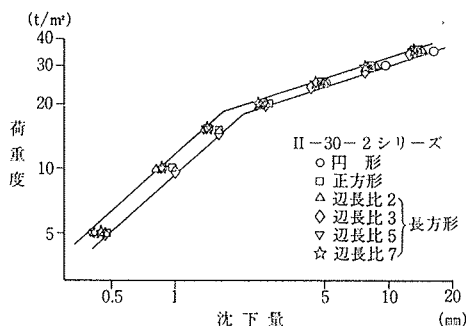
各載荷板の試験結果から、それぞれ本地盤の降伏荷重度を求め、表一2に示した。急速繰返し試験結果から降伏荷重度を判定する方法については既報⁸⁾ を参照された。この表によると、降伏荷重度は、載荷板の形状に関係なく、17~19 t/m² 程度の一定値を示している。

また、地盤が降伏荷重度に達したときの沈下量 S_y, および S_y を載荷板の面積 A の平方根 √A で除した値 S_y/√A を表一3に示した。これによると、II-45シリーズの S_y の値は、II-30シリーズの値より大きくなっており、載荷板の面積による影響がみられるが、形状による差は認められない。また、S_y/√A の値は、載荷板の面積および形状に関係なく、0.6~0.8% 程度の一定値を示している。すなわち、本地盤が降伏荷重度に達したときの各載荷板の沈下量は、0.006~0.008√A 程度の値を示している。なお、II-30-1 シリーズについては、各載荷板の沈下量のバラツキが大きくなっている。これは、試験地盤が降雨の影響を受けたためと考えられる。

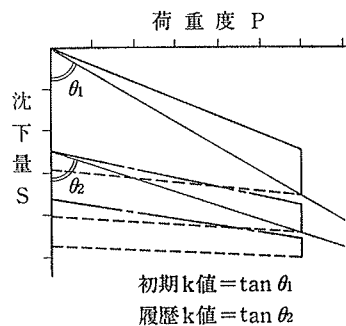
3.2. 地盤反力係数 k 値について

図一6に示すように、平板載荷試験から得られる荷重度～沈下量曲線において、原点と曲線上の点を結ぶ直線の勾配を初期k値、履歴曲線の勾配を履歴k値と仮称し、これらのk値について調査した。

3.2.1. k 値～荷重度の関係 一例として、II-30-2 シリーズの長方形載荷板(辺長比3)の試験結果から求めたk値～荷重度の関係を図一7に示した。これによると、初期k値および履歴k値は、荷重度の増加にとも



図一5 log P ~ log S 曲線の比較



図一6 初期k値, 履歴k値

| 載荷板 | II-30-1 | | II-30-2 | | II-45-1 | | II-45-2 | | |
|-----|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------|
| | 沈下量 S _y | S _y / √A | 沈下量 S _y | S _y / √A | 沈下量 S _y | S _y / √A | 沈下量 S _y | S _y / √A | |
| 円形 | 6.8 | 2.27 | 2.0 | 0.67 | 3.2 | 0.71 | 2.8 | 0.62 | |
| 正方形 | 2.5 | 0.83 | 2.3 | 0.77 | 3.1 | 0.69 | 2.6 | 0.58 | |
| 長方形 | 辺長比2 | 2.9 | 0.97 | 1.8 | 0.60 | 0.73 | 2.6 | 0.58 | |
| | 辺長比3 | 3.1 | 1.03 | 2.4 | 0.80 | 3.1 | 0.69 | 2.5 | 0.56 |
| | 辺長比5 | 3.4 | 1.13 | 1.9 | 0.63 | 2.9 | 0.64 | - | - |
| | 辺長比7 | 2.1 | 0.70 | 2.0 | 0.67 | 2.8 | 0.62 | 2.4 | 0.53 |

A: 載荷板の面積

表一3 降伏荷重度における沈下量

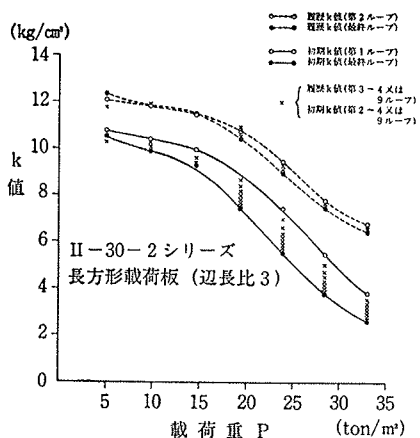


図-7 k 値～荷重度の関係

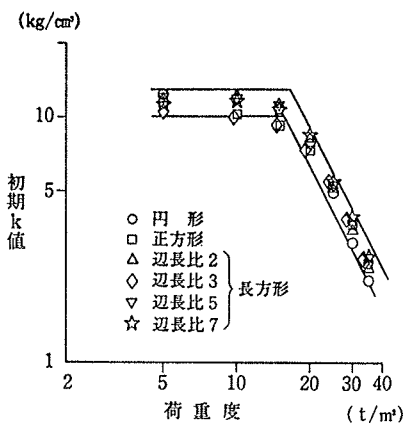


図-8 初期 k 値～荷重度

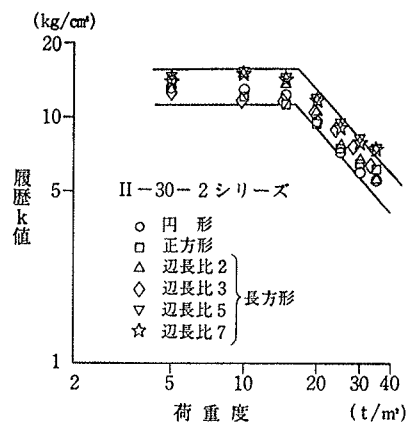


図-9 履歴 k 値～荷重度

なって減少する傾向が認められ、その減少の割合は低荷重域では非常に小さく、高荷重域では大きくなっている。

次に、II-30-2 シリーズの試験結果から求めた、各荷重階における最終ループの初期 k 値～荷重度の関係を両対数紙上にプロットし、図-8 に示した。これによると、載荷板の形状に関係なく初期 k 値は、降伏荷重度を境として低荷重域ではほぼ一定で、高荷重域では直線的に減少する傾向が認められる。既報⁸⁾でも述べたように、初期 k 値が両対数紙上でほぼ一定であることは、3. に示した(1)式において、指数 n_1 が 1.0 に近い値であることに対応している。両対数紙上における履歴 k 値～荷重度の関係は、図-9 に示した。履歴 k 値についても初期 k 値と同様な傾向が認められるが、高荷重域における直線部分の勾配は、初期 k 値の場合より小さくなっている。

3.2.2. k 値～沈下量の関係 II-30-2 および II-45-2 シリーズにおける初期 k 値～沈下量の関係を両対数紙上にプロットし、図-10 に示した。これによると、各載荷板の初期 k 値はある沈下量 S_0 までは、ほぼ一定であるが、 S_0 を越えると沈下量の増大にともなって、直線的に減少する傾向が認められる。 S_0 の値は、II-30 シリーズでは 1.5 mm 程度、II-45 シリーズでは 2.2 mm 程度と、載荷板の面積によって異なっているが、形状には関係なく一定であり、また、直線部分の勾配は面積、形状に関係なく一定となっている。なお、 S_0 の値は、3.1. で述べた S_y の値よりやや小さな値である。両対数紙上における履歴 k 値～沈下量の関係は図-11 に示した。これによると、履歴 k 値についても初期 k 値と同様な傾向が認められるが、直線部分の勾配は初期 k 値の場合より小さくなっている。

次に、II-30-2 シリーズについて、各荷重階における初期 k 値を、最低荷重階における初期 k 値で除した無次元化量、(初期 k_n 値/初期 k_0 値) と、沈下量 S を載荷板の面積の平方根 \sqrt{A} で除した値 S/\sqrt{A} との関係を示し、図-12 に示した。これによる

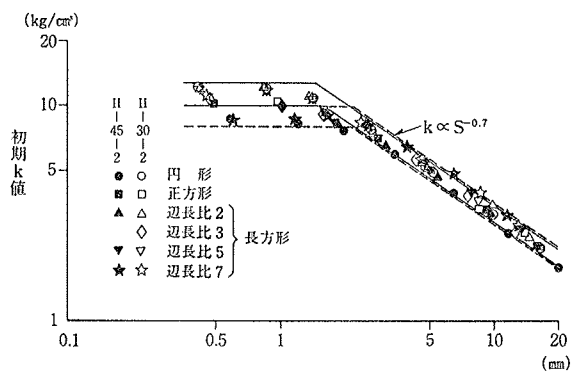


図-10 初期 k 値～沈下量の関係

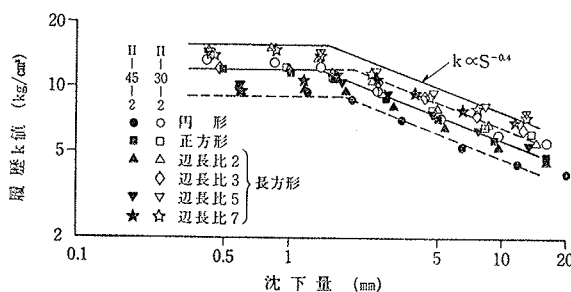


図-11 履歴 k 値～沈下量の関係

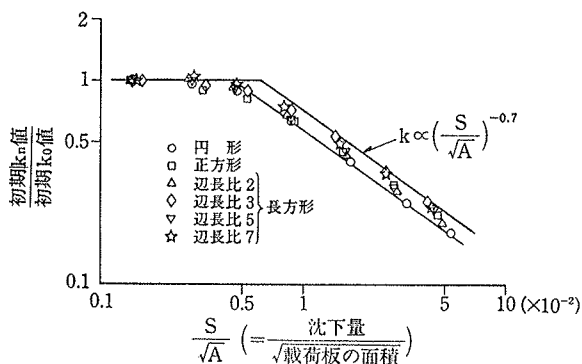


図-12 初期 k_n 値 / 初期 k_0 値 ～ $\frac{S}{\sqrt{A}}$

と、(初期 k_n 値/初期 k_0 値) は、載荷板の形状に関係なく、 $S \leq 0.005\sqrt{A}$ の範囲内では一定であるが、 $S > 0.005\sqrt{A}$ では、 S/\sqrt{A} の増加にともなって両対数紙上で直線的に減少している。 $S > 0.005\sqrt{A}$ での関係式を求めると、

$$\frac{\text{初期 } k_n \text{ 値}}{\text{初期 } k_0 \text{ 値}} = (0.65 \sim 0.75) \times \left(\frac{S}{\sqrt{A}}\right)^{-0.7}$$

ここに、 S/\sqrt{A} の単位は%

となる。なお、本地盤が降伏荷重度に達したときの沈下量は $0.006 \sim 0.008\sqrt{A}$ 程度である。

II-30-2 シリーズにおける履歴 k 値についての (履歴 k_n 値/履歴 k_0 値) $\sim S/\sqrt{A}$ の関係は、図-13 に示した。これによると、履歴 k 値についても初期 k 値と同様な傾向が認められ、 $S > 0.005\sqrt{A}$ での関係式は、

$$\frac{\text{履歴 } k_n \text{ 値}}{\text{履歴 } k_0 \text{ 値}} = (0.65 \sim 0.75) \times \left(\frac{S}{\sqrt{A}}\right)^{-0.4}$$

となる。なお、図には示していないが、II-45 シリーズについても図-12, 13 と同様な結果を得ている。

以上に述べた、 k 値 \sim 荷重度、および k 値 \sim 沈下量の関係にみられる傾向は、載荷板の形状に関係なく認められるとともに、既報⁸⁾ で述べたように、載荷板の面積にも関係なく認められる。

3.2.3. k 値と載荷板の形状との関係

(荷重度をパラメータとした場合)

図-14 に、II-30-2 シリーズにおける初期 k 値および履歴 k 値と載荷板の形状との関係を、荷重度をパラメータとして図-14 に示した。さらに、各載荷板の初期 k 値を正方形載荷板の初期 k 値で際した無次元化量、

$\frac{\text{各載荷板の初期 } k \text{ 値}}{\text{正方形載荷板の初期 } k \text{ 値}}$ と載荷板の形状との関係、および履歴 k 値の無次元化量

$\frac{\text{各載荷板の履歴 } k \text{ 値}}{\text{正方形載荷板の履歴 } k \text{ 値}}$ と載荷板の形状との関係を、それぞれ図-15, 16 に示した。図-15, 16 中の太い実線、および点線は、それぞれ以下に示す、Terzaghi の式、および Schleicher の式による計算値である。

Terzaghi の式

$$\frac{k_1}{k_0} = \frac{B_0}{B_1}, \quad k_{n1} = k_1 \frac{2n+1}{3n}$$

ここに、 k_0 : 一辺の長さ B_0 なる正方形載荷板の k 値

k_1 : 一辺の長さ B_1 なる正方形載荷板の k 値

k_{n1} : 短辺の長さ B_1 , 長辺の長さ nB_1 なる長方形載荷板の k 値

Schleicher の式

$$k = \frac{E}{1-\nu^2} \frac{\pi}{\sqrt{A}} \frac{n}{\ln \frac{\sqrt{1+n^2}+n}{\sqrt{1+n^2}-n} + n \ln \frac{\sqrt{1+n^2}+1}{\sqrt{1+n^2}-1} - \frac{2}{3} \left\{ \frac{(1+n^2)^{3/2} - (1+n^2)}{n} \right\}}$$

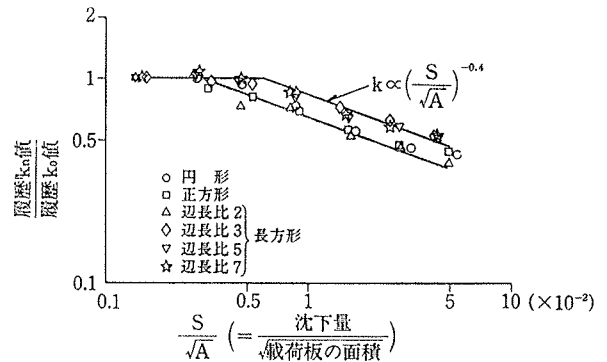


図-13 履歴 k_n 値/履歴 k_0 値 $\sim S/\sqrt{A}$

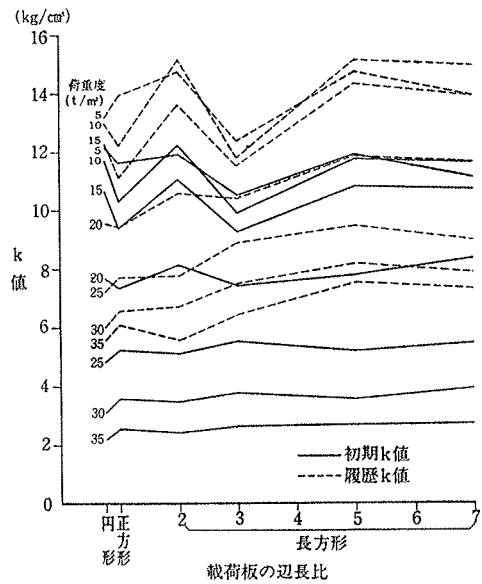


図-14 初期 k 値, 履歴 k 値 \sim 載荷板の形状

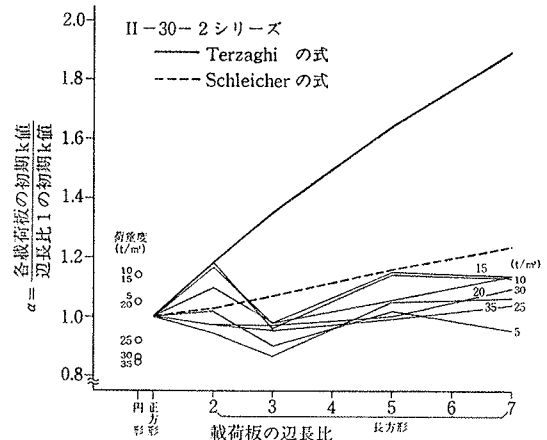


図-15 $\alpha \sim$ 載荷板の形状

- ここに、 E : 地盤の弾性係数
- ν : 地盤のポアソン比
- A : 載荷板の面積
- n : 載荷板の辺長比

これらの図によると、初期 k 値および履歴 k 値は、載荷板の辺長比の増加にともなって増大する傾向が認められる。この k 値の増加の傾向は、Schleicher の式による計

算値の傾向と比較的合っている。また、一例として、荷重度 25 t/m^2 における $\frac{\text{各載荷板の初期}k\text{値}}{\text{正方形載荷板の初期}k\text{値}}$ と載荷板の形状との関係について、4シリーズの実験結果をまとめて、図-17に示した。初期k値に関する上記の傾向がより明確に認められる。なお、円形と正方形載荷板のk値の間には、有意な差が認められなかった。

(S/\sqrt{A} をパラメータとした場合)

初期k値、および履歴k値と載荷板の形状との関係を、 S/\sqrt{A} をパラメータとして図-18に示した。さらに、

$\frac{\text{各載荷板の初期}k\text{値}}{\text{正方形載荷板の初期}k\text{値}}$ ~ 載荷板の形状、および $\frac{\text{各載荷板の履歴}k\text{値}}{\text{正方形載荷板の履歴}k\text{値}}$ ~ 載荷板の形状との関係を、それぞれ図-19, 20に示した。これらの図によると、初期k値および履歴k値とも荷重度をパラメータとした場合と同様載荷板の辺長比の増大にともなって増加する傾向が認められる。そして、この増加の傾向は、Schleicherの式による計算値の傾向と比較的一致している。また、一例として、 $S/\sqrt{A}=2.0$ における $\frac{\text{各載荷板の履歴}k\text{値}}{\text{正方形載荷板の履歴}k\text{値}}$

と載荷板の形状との関係について、4シリーズの実験結果をまとめて、図-21に示した。履歴k値についての上記の

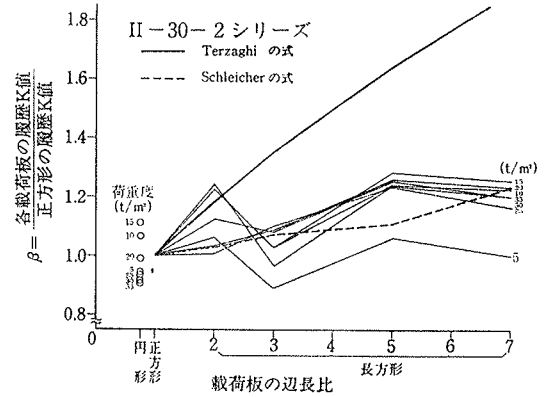


図-16 β ~ 載荷板の形状

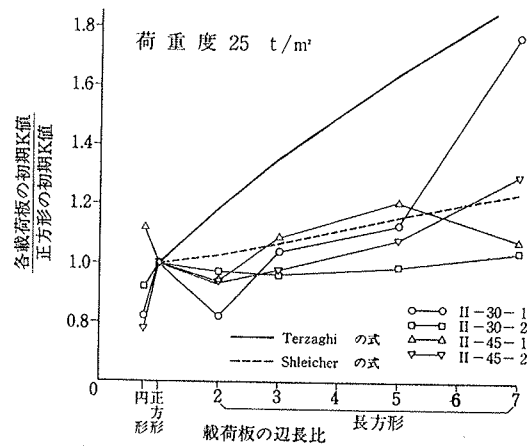


図-17 α ~ 載荷板の形状

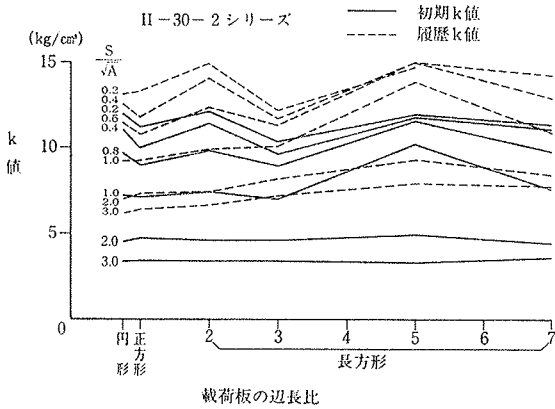


図-18 k値 ~ 載荷板の形状

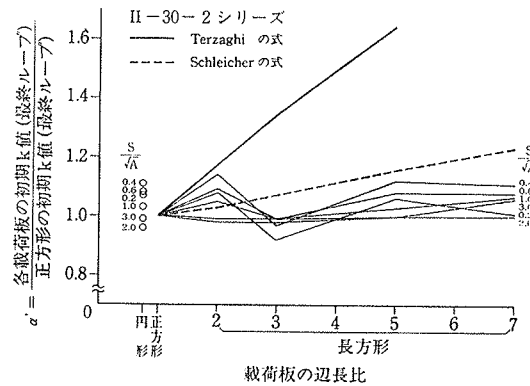


図-19 α' ~ 載荷板の形状

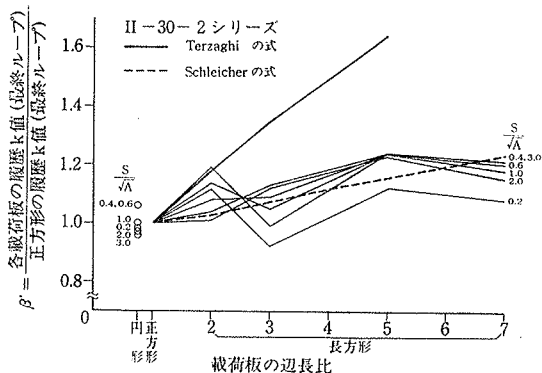


図-20 β' ~ 載荷板の形状

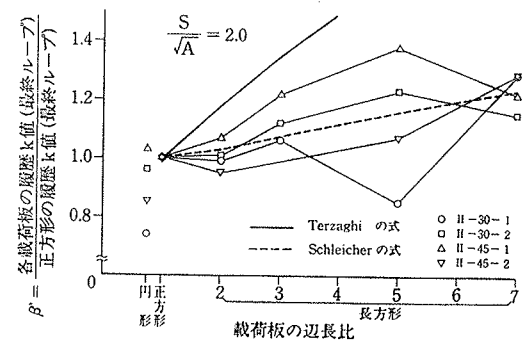


図-21 β' ~ 載荷板の形状

傾向がより明確に認められる。なお、円形と正方形載荷板のk値の間には、有意な差が認められなかった。

4. まとめ

(1) 各載荷板の荷重度～沈下量曲線を比較したところ、全体的に、載荷板の形状による顕著な差はみられなかった。しかしながら、同一荷重度における沈下量を詳細に比較すると、低荷重域における沈下量の差は非常に小さく、明確な傾向は判別できないが、高荷重域では一定の傾向が認められた。すなわち、長方形載荷板の沈下量は、円形および正方形載荷板の沈下量より小さく、また、長方形の辺長比(長辺/短辺)の増加にともなって減少する。なお、円形と正方形載荷板の沈下量の間には、有意な差が認められなかった。

(2) 各載荷板の荷重度～沈下量曲線は、降伏荷重度を境に、

$$\text{低荷重域では、} S = C_1 P^{n_1}$$

$$\text{高荷重域では、} S = C_2 P^{n_2}$$

ここに、S: 沈下量, P: 荷重度

c_1, c_2, n_1, n_2 : 定数

で表わされ、指数 n_1, n_2 は地盤固有の値であって、載荷板の面積および形状に関係なく一定である。なお、本実験結果では、 n_1 は約 1.1, n_2 は約 3.1 であった。

(3) 本地盤の降伏荷重度は、載荷板の面積、形状に関係なく、ほぼ 18 t/m^2 程度の一定値を示した。また、降伏荷重度に達したときの各載荷板の沈下量は、載荷板の面積、形状に関係なく、 $0.007\sqrt{A}$ (A: 載荷板の面積) 程度の一定値を示した。

(4) k値は、載荷板の面積、形状に関係なく、沈下量 S が $0.005\sqrt{A}$ 以下の範囲内では一定であるが、これを越えると両対数紙上で直線的に減少する。

$S > 0.005\sqrt{A}$ での初期k値および履歴k値と沈下量の関係式を求めると、

$$\text{初期k値} \propto (0.65 \sim 0.75) \times \left(\frac{S}{\sqrt{A}} \right)^{-0.7}$$

$$\text{履歴k値} \propto (0.65 \sim 0.75) \times \left(\frac{S}{\sqrt{A}} \right)^{-0.4}$$

となる。

(5) k値と載荷板の形状の関係について、荷重度および S/\sqrt{A} をパラメータとして調査すると、いずれの場合についても、長方形載荷板の初期k値および履歴k値は、円形および正方形載荷板のk値より大きくまた、長方形の辺長比の増大にともなって増加する傾向が認められた。そして、その増加の傾向は、Schleicherの式による計算値の傾向と類似していた。なお、円形と正方形載荷板のk値の間には、有意な差が認められなかった。

参考文献

- 1) 小泉, 伊藤: 関東ローム層の載荷試験について, 日本建築学会関東支部研究発表会梗概集, 第29回, 第1部会, (1961.1)
- 2) D. D. Barkan: Dynamics of Bases and Foundations, Mcgraw-Hill, (1962)
- 3) 土質工学会編: クイの鉛直載荷試験基準・同解説, (昭和47)
- 4) F. K. Chin: Size and Load Effect on Settlement of Footings in Clay, Proc. 7th International Conference Soil Mechanics and Foundation Engineering, (1969)
- 5) 古藤田, 風間: 水平方向地盤反力係数(その1), 第13回土質工学研究発表会講演集(昭和53)
- 6) 金谷, 宮崎, 茶谷: 関東ローム層における平板載荷試験, 平板載荷試験に関するシンポジウム, 土質工学会(昭和54)
- 7) 金谷, 秋野: 短形杭の先端沈下性状と寸法効果, 第15回土質工学研究発表会講演集, (昭和55)
- 8) 金谷, 秋野, 茶谷: 地盤反力係数に関する実験的研究(その1), 大林組技術研究所報, No. 21, (1980), pp. 38~46