

鳥取大学 正員 陽見 雅
鳥取大学 学員 森野 久栄
鳥取大学 学員 〇 筑作 光一

1 まえがき

円形剛基礎のような三次元軸対称問題として支持力の塑性解析を行なうと、中間主応力が支持力係数、および接触圧分布にかなり大きな影響を及ぼすということと著者の一人は報告したことがある。¹⁾ 本研究はこの中間主応力に注目して、理論計算により接触圧分布を求め、一方、室内模型実験によりそれを求め、両者と比較検討するものである。そのために実験においては地盤と基礎底面の間の接触圧分布を測定するための接触圧分布計を試作したので、それについて報告する。

2 接触圧分布の理論解析

土がモール・クーロンの破壊条件を満足する剛塑性体であると仮定し、三次元軸対称問題として理論解析を行なう。そこで本研究においては地表面載荷の場合を考えて、中間主応力係数 k と $\sigma_2 = \sigma_3 + k(\sigma_1 - \sigma_3)$ [$0 \leq k \leq 1$] と定義し、 k の値を変化させることにより自重および粘着力による接触圧分布を求める。

解析にあたっては、基礎底面は完全にありとし、また円周方向の応力が中間主応力になるものと仮定する。まず図-1において任意要素の釣合いを考えると、

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} \cdot \frac{r}{r} &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_z}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} \cdot \frac{r}{r} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

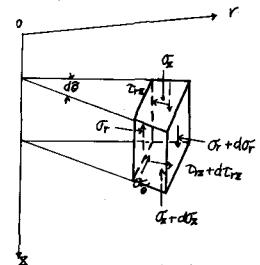


図-1 応力の釣合い

となる。また (r, z) 平面に関する二次元のモール・クーロンの破壊条件式として

$$\tau_{rz} = C + \sigma_2 \tan \phi \quad (2)$$

を用いる。ここで τ_{rz} は破壊面に沿うせん断強度で、 C (土の粘着力) ϕ (土のせん断抵抗角) は土中で一定とする。 σ_2 は有効圧である。式(2)を整理すると次式のような拡張した K の方程式が誘導できる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP}{ds_1} - 2 \left(P \tan \phi + \frac{C}{\cos \phi} \right) \frac{d\theta}{ds_1} - \gamma \sin(\theta - \phi) + \frac{1}{r} \left(P \tan \phi + \frac{C}{\cos \phi} \right) \{ (2k - 1) \cos(\theta - \phi) + \sin \theta \} \\ \frac{dP}{ds_2} + 2 \left(P \tan \phi + \frac{C}{\cos \phi} \right) \frac{d\theta}{ds_2} - \gamma \cos \theta - \frac{1}{r} \left(P \tan \phi + \frac{C}{\cos \phi} \right) \{ (2k - 1) \sin \theta + \cos(\theta - \phi) \} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここで P はすべり線上の有効圧に基づくせん断抵抗合応力であり、 $(\sigma_1 + \sigma_3)/2 = P/\cos \phi + C \tan \phi$ なる関係を満たすものである。 s_1, s_2 はすべり線 θ は s_2 すべり線と r 軸とのなす角である。一方 s_1, s_2 すべり線に沿ってそれぞれ幾何学的関係より

$$\frac{dz}{dr} = \tan \theta, \quad \frac{dz}{dr} = \tan \left(\frac{\pi}{2} - \phi + \theta \right) \quad (4)$$

が成り立つ。そこで式(3), (4)を差分方程式に書き改め、応力の境界条件のもとで逐次数値計算法によりすべり線網目を組み立てることにより基礎底面における鉛直応力を求めることができた。ここで理論的な接触圧分布を求める。

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_z}{C} &= \frac{P}{C} \cdot \frac{1}{\cos \phi} \{ \sin^2 \theta + \cos^2(\theta - \phi) \} + \frac{2}{\cos \phi} \sin \theta \cos(\theta - \phi) \\ \frac{\sigma_z}{B \gamma} &= \frac{P}{B \gamma} \cdot \frac{1}{\cos \phi} \{ \sin^2 \theta + \cos^2(\theta - \phi) \} \end{aligned}$$

ここに B は基礎の半径を示す。

3 室内模型実験

実験に用いた地盤試料は自然乾燥した鳥取砂丘砂であり、その土質工学的性質は比重 $G_s = 2.66$, 均等係数 $U_c =$

2.16, せん断抵抗角 $\phi \cong 36^\circ$, 単位体積重量 $\gamma \cong 1.69$ g/cm³, 間びき比 $c \cong 0.57$, 粘着力 $C \cong 8.8$ である。実験装置の概略図は図-2に示すとおりであり、図中の①は37本のアルミ棒から成り、そのうちの12本により接触圧分布を測定する。なお①の詳細図は図-3.4に示す。図-4は基礎底面を示し、図中の番号は抵抗線ひずみゲージとよばれるアルミ棒を示している。

以上の装置により地表面載荷時の接触圧分布が測定できる。載荷法は沈下計によるひずみ制御法(ひずみ速度 0.6 mm/min)、応力制御法(各荷重段階約 0.07 kg/cm^2)の両者を採用し、その差異も考慮していた。また、本実験の接触圧分布は荷重沈下曲線と向対数紙上に描いたときの第一折れ点に相当する階段荷重時の接触圧分布と採用した。

4 理論計算結果と実験結果の比較検討

本研究の結果は図-5に示しているが、比較検討が容易になるように縦横軸とも影響値に直し、比較検討することにした。ここで理論的な接触圧分布は自重と粘着力による接触圧分布が別々に求まるので、本研究においてはテルツァーギーの極限支持力公式

$$q_u = cN_c + \frac{1}{2} B \gamma N_\gamma \quad (6)$$

において右辺の第一項と第二項の比を考慮し、それぞれ $K^* = 0.0, 0.25, 0.50$ の時を別々に計算し、あとで接触圧分布を破線に示している。つぎに実験的に求まる接触圧分布は実験で示しているが載荷法により r/R が $0.7 \sim 1.0$, つまり基礎の端部付近で大きく異なっているが、このことは応力制御法では、各荷重段階の間隔を約2分間としたがその時に基礎端部付近の粘着成分が徐々に逃げていき、その結果として連続的なひずみ制御法と比較した場合、その差異が生じていると思われる。さて、図-5の結果から中間主応力係数 K を接触圧分布より推定するとは $K=0.0$ の時が一番、実際地盤の接触圧分布によく一致しているように思われる。

5 あとがき

本研究において得られた結果を要約するとつぎのとおりである。

- (1) 接触圧分布により中間主応力係数 K を推定すると $K=0.0$ の時にも、とてもよく合い、Herr-Kirmanの仮定($\sigma_2 = \sigma_3$)の妥当性がうかがえる。
- (2) 同一地盤であっても応力制御法、ひずみ制御法の載荷法により求まる実験的な接触圧分布が異なることが確認できた。

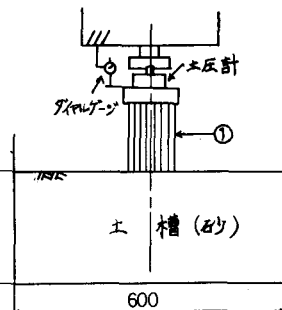


図-2 実験装置の概略図

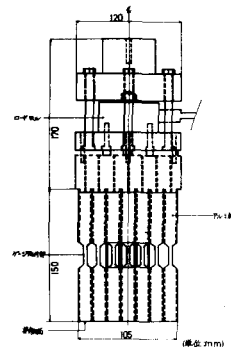


図-3 接触圧分布計

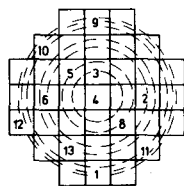


図-4 基礎底面詳細図

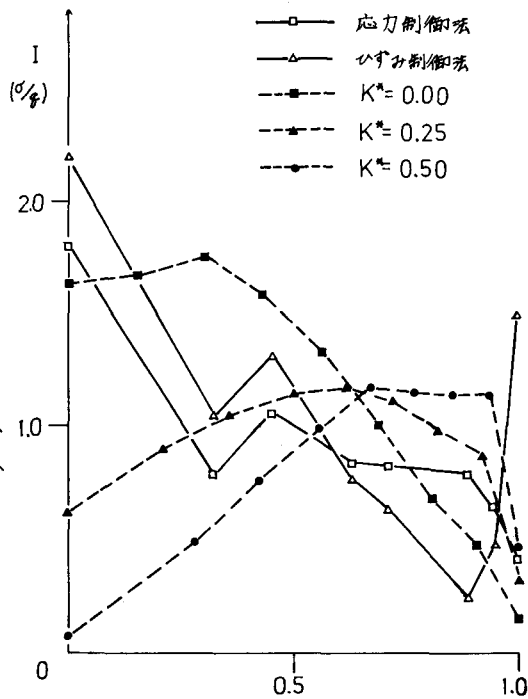


図-5 接触圧分布の概形 r/R

【参考文献】

- 1) 晴見 隆 中間主応力に注目した円形基礎の支持力に関する研究
土木学会論文報告集第252号 昭51.8
- 2) 赤井 浩一 土質工学 朝倉書店
P.206 昭53.4