

軟弱地盤の基礎破壊に於ける土中歪に關する研究

広島大学工学部 正員 綱千寿夫
広島大学工学部 学生員 安部豊彦

1. まえがき

軟弱粘土地盤上に、部分的載荷した時、地盤は圧縮変形、及びせん断変形を生ずる。荷重が小さい範囲では前者が主であるが、荷重が大きくなるとせん断変形が卓越して地盤の支持力の問題となる。部分的載荷によって、圧密問題及び支持力の問題に於いて二次元的・三次元的せん断変形を生ずる。二次元的・三次元的変形に対して、多くの研究がなされているにも拘らず現在尚の考動を十分解明されるに至っていない。そこで本研究では、連続基礎の表面載荷模型実験を行なって、土中内部の変形状態を測定し、又一方土のせん断特性を三軸圧縮試験によて決定し、有限要素法を用いて、平面ひずみ弾塑性解析を行ない、土中の変形状態を求め、実験との比較検討を行なう事を目的とした。

2. 実験方法

試料用粘土は、福山沖海底で採取したもので、420ムルイにかけて通過したものと当実験室に於いて図1に示す圧密箱で再圧密したものである。圧密された粘土は、巾10cm、高さ25cm、長さ152cmの直角体に成形し、その両側面に透明アクリル板を重ね合わせ、しかも平面ひずみ条件を満たすため、アクリル板に「実験中だけが生じない様に補剛板を取り付けた。又正規圧密状態での考動を計るため、先行荷重の大きさに相当するサーキュージ(0.5kg/cm²)を与え、圧密完了後、帶状基礎の載荷試験を行った。アクリル板で拘束した粘土側表面には、土中のひずみ分布を

知るために、多量の標点を約2.5cm間隔で埋設した。図2 載荷には二次元的にフレキシブルで等分布荷重の条件を満たすフーネンアソブ利用し、載荷方向は直角とした。載荷方法は応力制御方式で行った。標点の移動量の取り方は写真判定により、精度としては約0.04mm位であった。

試料の特性は、液性限界83%、塑性限界29%、比重2.67であった。

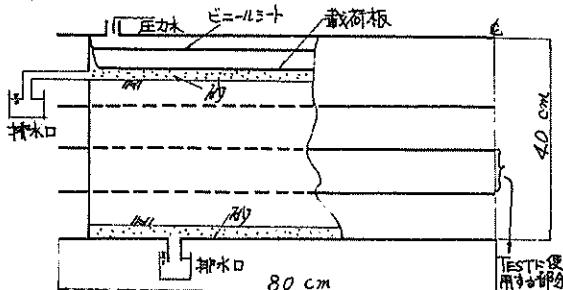


図 1

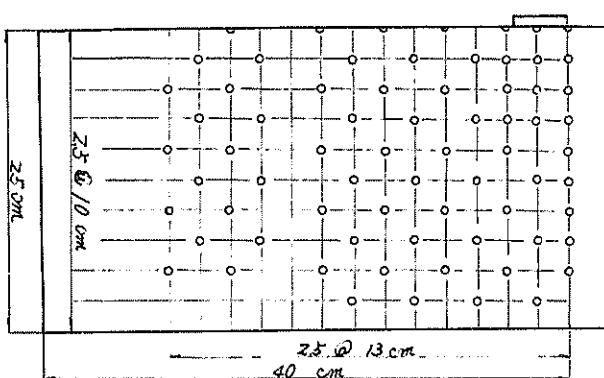


図 2

3. 土のせん断特性

土のせん断特性とは、応力を加えてから破壊に至るまでの過程に於ける応力-ひずみ関係をさすが、この関係を統一的に示すことは現在の所まだ困難である。従ってここでは、当実験室にて行なわれた平面ひずみ条件下での三軸圧縮試験から得られた代表的な応力-ひずみ関係を図3に示す。これによると、ある応力間隔毎に直線で結ばれる折線として近似されうる。又一般化したフックの法則により一点の応力状態 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ によって各軸方向に生ずるひずみ成分は

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)]$$

$$\epsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_2 - \nu(\sigma_1 + \sigma_3)]$$

$$\epsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)]$$

で表わされる。ここで平面ひずみ条件とすると、 $\epsilon_z = 0$ 、従って $\nu = (\sigma_2 + \sigma_3)/\sigma_1$ となる。この時のポアソン比と軸ひずみの関係を図4に示す。以上に

より各応力段階に於ける要素のヤング係数 E とポアソン比 ν は表1に示す様に漸次変える事が出来る。

4. 有限要素法による解析

有限要素法の基本的概念は、構造物は個々の要素の集合であり、各要素は各節点で結合されているものと考える。この解析過程は、次の三つの部分に分けられる。まず構造物をモデル化し、次に要素の特性を計算すること、すなむち、要素の剛性マトリックスを計算する事である。最後に個々の要素の剛性マトリックスを加え合わせて、構造物全体の剛性マトリックス[K]を作製することである。そして、節点に作用する外力[R]とそれによる変位[u]との間には、 $[u] = [k]^{-1} \cdot [R]$ が成立して考えられた荷重による変形量が計算できる。

有限要素法は、弹性体の微小変形を考えたものであるが、本解析では地盤を三角形要素に分割し基礎地盤の塑性解釈のため $\Delta \sigma_{xy}$ -Step 方式を用いた。即ち、荷重を段階的に与えることによって、求められた各応力増分($\Delta \sigma_x, \Delta \sigma_y, \Delta \tau_{xy}$)を加算して、その合計値から、大、小主応力、最大せん断応力を計算して、各要素の塑性化の判別を行ない、

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_x(i) = \sigma_x(i-1) + \Delta \sigma_x(i) \\ \sigma_y(i) = \sigma_y(i-1) + \Delta \sigma_y(i) \\ \tau_{xy}(i) = \tau_{xy}(i-1) + \Delta \tau_{xy}(i) \end{array} \right.$$

(i は Step の回数)

と並によつて各要素のヤング係数とポアソン比の修正を漸次行なつてゆく。又帶状基礎

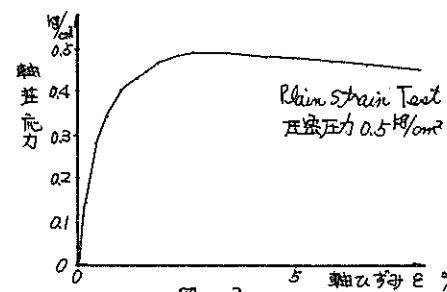


図 3

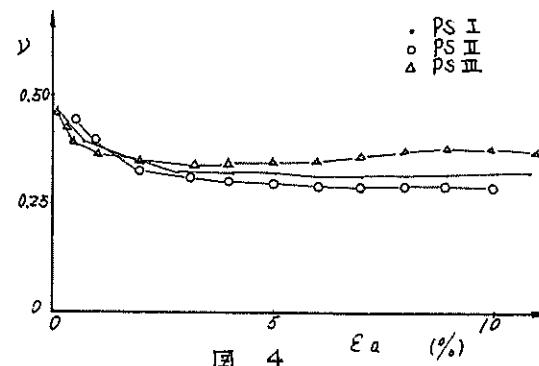


図 4

$(\sigma_x - \sigma_y) / \sigma_x$	0~0.3	0.3~0.4	0.4~0.5	0.5~0.6	0.6~0.7
$E / \text{kg/cm}^2$	60	20	10	2.2	0.45
ν	0.45	0.38	0.35	0.35	0.35

表 1

を対称にしているため平面ひずみ問題として考えている。3.で求めた土のせん断特性を用い、そして地盤の境界条件は図にして示すものとして、有限要素法の計算を行なつ。

5 結果

土中ひずみを求めるには、土中に埋設された標点の変位量から求める。節点各変位を鉛直成分(V)と水平成分(U)に分割することによってひずみを計算した。図5に示す様に、標点1, 2, 3, 4の

水平変位を U_1, U_2, U_3, U_4 とし、鉛直変位を V_1, V_2, V_3, V_4 とするとき、これら4点で囲まれた要素のひずみは近似的に次式で示さる。

$$\epsilon_x = (U_2 - U_1)/l_0 \quad (\epsilon_x \text{は水平ひずみ})$$

$$\epsilon_z = (V_3 - V_1)/l_0 \quad (\epsilon_z \text{は鉛直ひずみ})$$

$$\gamma_{xz} = (U_2 + U_3 - V_2 - V_3)/l_0 - (U_3 - U_1)/l_0$$

(γ_{xz} はせん断ひずみ, γ_{xz} はスラブ軸に関する回転角)

$$\gamma_{max} = \sqrt{(\epsilon_x - \epsilon_z)^2 + \gamma_{xz}^2} \quad (\gamma_{max} \text{は最大せん断ひずみ})$$

図8～図10は実測値と有限要素法による得られた結果を、 γ_{max} について $\gamma = 1.1, 1.5, 1.8 \text{ kN/cm}^2$ の各段階での比較を行なっている。又以前当実験室において過圧密状態でひずみ制御(0.5 mm/min)で行なわれた載荷試験の破壊状況と有限要素法で得られた塑性域の比較を荷重の二段階において比較したものが図11～図12である。図11では有限要素法を用いる場合のモデル図を示している。

6 考察

各荷重段階における γ_{max} 分布を観察してみると部分的には近似しているが実験で得た γ_{max} 分布は要素の大きさが大きい ($2.5 \times 2.5 \text{ cm}$) 詳細には表現できず有限要素法との類似度はよくない。このことと数値的に実験で得たものが大きくくなっているがこれは7-4-17の強制押しこみ及び有限要素法では土の塑性化を弾性係数の低下で示す簡単な方法で示し算出した数値を单纯に重ね合わせて行くことによるものと思われる。荷重段階 1.5, 1.8 kN/cm² における双方の γ_{max} 分布を観察してみると、ある大き

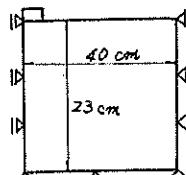


図 6

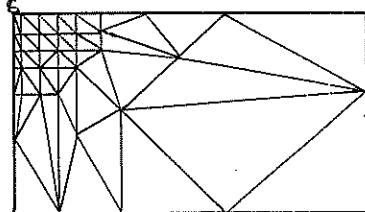


図 7

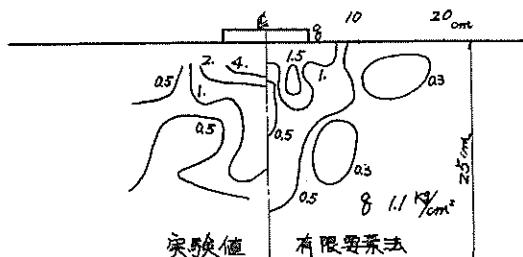


図 8

さの γ_{max} (実測値5%, 有限要素法0.5%) を境界として大きく変化している。これは、あるスペリ線を境として変数をズレさせたものと考えられる。又有限要素法で求めると、 γ_{max} の最大値は、荷重端付近と荷重下約5cmの所で生じている。一方実験値では荷重下約5cmの所では最大値が生じているが、荷重端では生じていない。これは、標点を地表面付近に埋設しても荷重の押しこみによって、荷重載荷表面付近では、ひずみの測定が精度になされず、しかも要素の大きさが大きめ度がかなり落ちているため荷重端付近では適格な γ_{max} 分布が得られないことにによると思われる。これは実験と有限要素法の塑性域の進行図からみても明らかであると思われる。部図11～図12によると塑性域の進行はまず荷重端部及び荷重下約5cm附近から進み漸次拡大していくことが示されている。この時の実験値は5%で示した状態におけるものである。有限要素法で解析するには土のせん断特性と境界条件の二つを考慮することが重要である。すなむちなるべく実際の地盤に類似した条件を用いないといふらメッシュを小さくして精度を上げても解析の意味がなくなり、である。

7. 問題点(計算過程における)

本実験の有限要素法ではダイラクシーエフェクトを考慮していない。又各荷重段階における節点、変位による節点座標の修正をしていない。さらに荷重履歴が考慮されておらず、適格な応力-ひずみ関係が、特に降伏直後にあって導入されていない。実験上の問題点としては、標点の間隔を特に荷重載荷面付近ではなるべく小さくして、しかもひずみ測定の精度の向上をはかる必要がある。以上の様に問題点は多くあるが今後改良していくつもりである。

参考文献

- 1 広島大学修士論文 1969, 1970

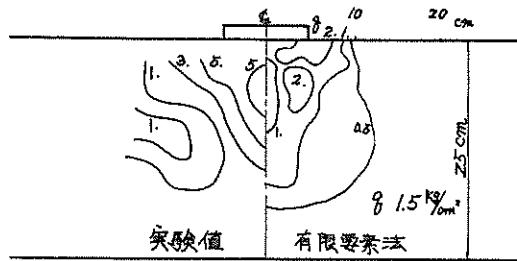


図 9

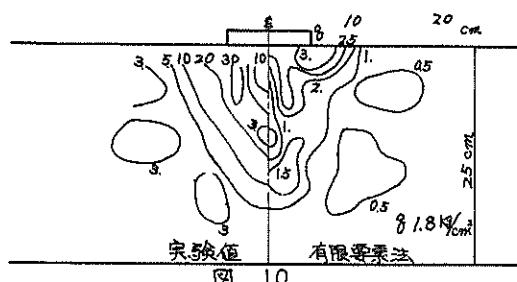


図 10

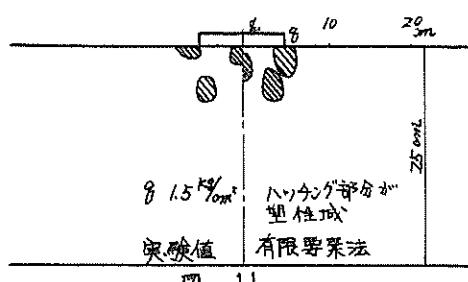


図 11

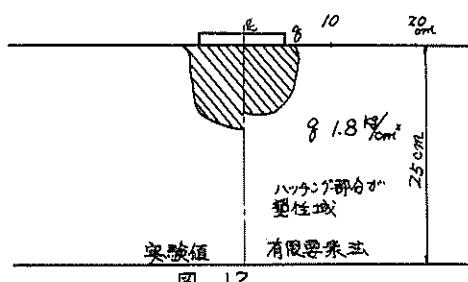


図 12