

○ 東京大学 学生員 柳沢 賢
 東京大学 学生員 佐々木規雄
 東京大学 正 員 堀井 秀之

1. はじめに

大規模構造物を軟岩地盤上に建設する際に最も重要となるのは、地盤の破壊に対する安全率を定量化し、十分な安全性が確保されているのを確認することにある。つまり、正確な地盤の支持力を予測する必要がある。本研究では地盤の破壊問題を「変形の局所化によって生じたすべり面の進展現象」としてとらえ、まずせん断試験の模型実験により変形の局所化・進行的な破壊現象を計測確認した。そして変形の局所化・進行性破壊を考慮した解析を行ない、荷重変位曲線・ひずみ場に関して実験結果と解析結果を比較し、解析手法の妥当性を検証した。

2. 実験方法

本研究では豊浦標準砂、石膏、水から作成した人工軟岩¹⁾を用いた。供試体を打設・養生した後図1に示すような型に整形し、載荷時は面外方向に変形しない十分な剛性のある型枠を用い、平面ひずみ状態で試験を行なった。なお、供試体の凸部には石膏をかぶせ、その上から載荷板を取り付けた。載荷はまず上面から一定の荷重を加え、これを実験中常に一定に保持する。そして斜めからの荷重は図1に示すように水平方向から15度の角度より変位制御で与えた。なお、供試体と側板の間には摩擦を抑えるためにメンブレンをはり²⁾、供試体の変形の様子はガラス窓からメンブレンの変形の様子を観察することにより把握できる。メンブレンには黒色スプレーでランダムな模様を施しておき、マッチング法³⁾による変位計測を行なった。

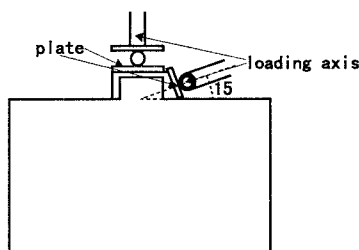


図1 せん断試験概略図

3. 実験結果

上載荷重が150kgf, 300kgf, 600kgfの3通りにおける実験結果を、荷重変位曲線について図2に示す。なお、ここで用いている変位は載荷点変位に含まれるベッディングエラーを除くために、マッチング法により載荷点直下で計測された供試体の変位を用いている。

上載荷重が600kgfの場合における最大せん断ひずみ分布を図3～5に示す。順に載荷点変位が0.4mm, 0.8mm, 1.2mmにおけるひずみで、6段階の色調はそれぞれ0～1, 1～2, 2～3, 3～4, 4～5, 5%～である。

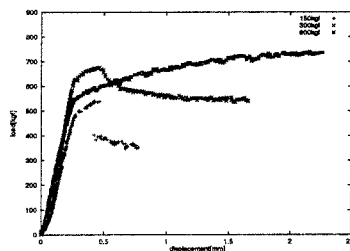


図2 実験結果 荷重変位曲線

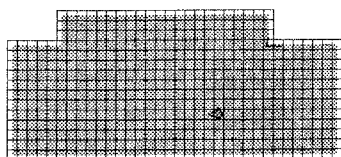


図3 実験結果 変位 0.25mm

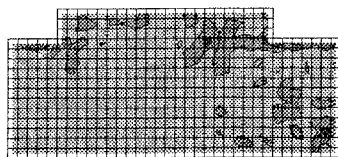


図4 実験結果 変位 0.6mm

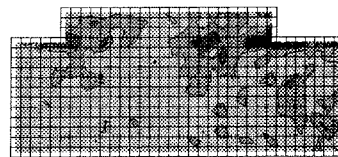


図5 実験結果 変位 1.0mm

キーワード：進行性破壊、変形の局所化、すべり面

〒113 東京都文京区本郷 3-7-1 TEL:03-5804-8708 FAX:03-3812-4977

4. 解析方法および解析結果

実際の設計に用いることが可能な簡便さを持つ解析方法を採用した。まず、材料のピーク前の弾塑性構成則を用いた有限要素解析の結果に基づいてすべり面のパスを想定し、そのパスに沿ってインターフェース要素(またはジョイント要素)を配置した。本研究で用いたインターフェース要素は、垂直方向に相対変位は生じない。せん断方向については、せん断応力とせん断変位が図7に示すような関係を満足する。この関係は垂直応力の大きさに依存するように規定した。つまり、図7に示すせん断応力-せん断変位関係において、ピーク荷重を保持する変位置量 L は、垂直応力の関数として図8に示す通りとした。

解析結果の荷重変位曲線に実験結果を重ねたものを図12に示す。また、上載荷重が600kgfの場合における最大せん断ひずみ分布を図9～11に示す。順に載荷点変位が0.4mm,0.8mm,1.2mmにおけるひずみで、6段階の色調はそれぞれ0～1,1～2,2～3,3～4,4～5,5%～である。

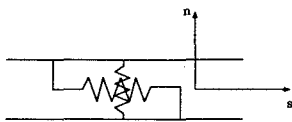


図6 インターフェース要素

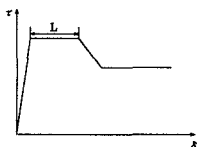


図7 せん断変位とせん断応力の関係

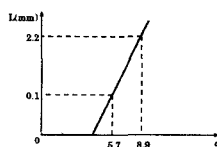


図8 鉛直応力と L の関係

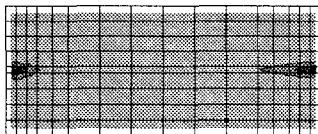


図9 解析結果 変位 0.25mm

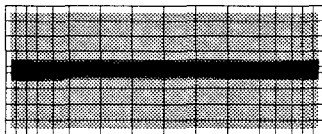


図10 解析結果 変位 0.6mm

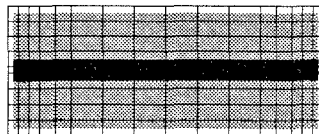


図11 解析結果 変位 1.0mm

5. 実験結果と解析結果の比較

実験結果を見ると、図3ではまだ変形は局所化していないが、図4,5と載荷が進むにつれて変形が局所化し、すべり面が確認できるようになった。このことから、上載荷重600kgfの場合は破壊が進行したことがわかる。一方荷重変位曲線から判断すると、上載荷重が150kgf,300kgfの場合における破壊は600kgfの場合と異なり脆性的に進行したと考えられる。解析では上載荷重の増大に伴い、荷重変位曲線の傾きが急変する点の限界荷重が増加し、それ以降の軟化勾配が緩やかになり、600kgfでは硬化挙動を示している。また、図9～11から、解析において進行的な破壊が再現できていると言える。

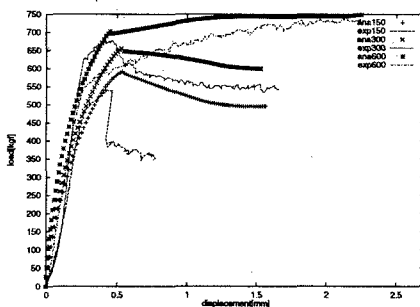


図12 解析結果 荷重変位曲線

実験結果では上載荷重が小さい場合において荷重が急減している。これはすべり面が動的に進展していることが原因である。これに対して上載荷重600kgfでは、実験でも解析と同様の硬化挙動を示しておりすべり面の動的な進展は生じていない。この結果は、準静的な要素試験から得られたすべり面の構成関係に基づく解析結果が軟化挙動を示す場合に動的すべり面進展が生じること、その場合には準静的要素試験から得られたすべり面の構成関係が満足されないことを示唆していると考えられる。すべり面の動的進展開始の条件およびその際のすべり面の構成関係を求めることは今後の課題である。

参考文献

- 1) 金子 岳夫. 人工軟岩の平面ひずみ圧縮試験と変形局所化の計測, 東京大学卒業論文, 1993
- 2) Fumio Tatsuoka, Frans Molenkamp, Tsuyoshi Torii, Tsutomu Hino. QUALITY OF LUBRICATION OF PLATENS, 土質工学論文, 1983
- 3) 西上, 堀井, 金子: 固結性砂質土の平面ひずみ圧縮試験と変形局所化の計測, 土質工学会発表講演集, 1993.