

人工軟岩の支持力試験における変形局所化と進行性破壊の計測

東京電力 正 員 金子 岳夫
 東京大学 正 員 堀井 秀之

1. まえがき

地盤の最大支持力の古典解においては、すべり面が完全に成長した状態を想定しているが、最近の実験手法の発達や計測装置の精度の向上に伴い、すべり面の形成現象が進行的なものであり、最大支持力はすべり面の進展過程において発揮されることがわかってきた。こうした事実に基づいて、地盤の支持力問題を「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、すべり面の発生・成長の過程を予測しうる解析手法を確立することが課題となっている。

人工軟岩の支持力試験においては、破壊が脆性的に生じることが過去の実験から判明しており、砂の支持力試験における最大荷重の生ずるメカニズムとは異なるという結果を得ている。ここでは支持力試験において変位場、ひずみ場を計測することにより、供試体内部において生じている現象を把握し、最大荷重を支配するメカニズムを検討した。

2. 実験概説

人工軟岩は、豊浦標準砂 69.6%、石膏 11.6%、水 18.8%(重量比)で構成されており、この配合比で打設された供試体に対して、平面ひずみ状態で偏心载荷を行う(図1)。载荷は変位制御で行い、载荷速度は 3mm/hour である。奥行き方向(ひずみを拘束する方向)の寸法は 10cm である。

荷重変位曲線を、図2に示す。砂に対する支持力試験と異なり、荷重のピーク以降に非常に脆性的な破壊を引き起こし、荷重が急減している。この支持力試験の各段階における写真を撮影し、マッチング法¹⁾により変位場の計測を行った。図2中の点線は、写真撮影を行った点を示す。変位場計測、ひずみ場計算は、図1に示す格子領域について行った。

3. 供試体内部の変形状態の推定

それぞれの格子要素において得られたひずみ履歴のパターンは、3種類に分類することができる。図3は、それぞれの格子要素の状態を分類したものである。

case a はすべり面が初期にその要素を通過しすべり量が増大した点である。初期の段階から主ひずみが急激に増大し、体積ひずみが収縮から膨張へと転じている。case b は側方向に拘束圧が働き、体積収縮し、応力が増大したと考えられる点である。case c は側方向の拘束が無く、応力があまり増大すること無く側方向に膨張したと思われる点である。この場合体積ひずみは膨張する。また、図中に示された・は最終的に観察されたすべり面が通過した要素を示す。

図3における case a, b の領域が、応力の負担をしていた領域である。この領域の中心は高い応力状態にあったと推測され、最終的に卓越するすべり面はその高い応力状態の中を進展したものと考えられる。

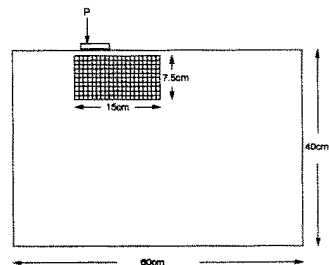


図1 支持力試験概略

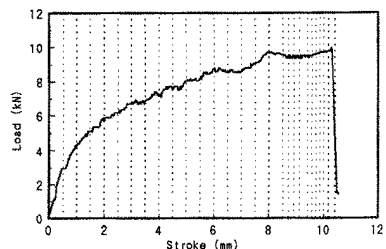


図2 荷重変位曲線

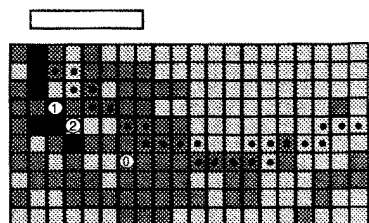


図3 分類

また、図4に case a~c について代表的なひずみ履歴を示した。

4. 応力状態の推定

図5は、図2の要素0における支持力試験における各要素の主ひずみ・体積ひずみ関係を表し拘束圧一定の平面ひずみ圧縮試験の結果と比較したものである。圧縮側を負に、膨張側を正としている。2~4kgf/cm²程度の拘束圧下における平面ひずみ圧縮試験では、軸ひずみが0.5~2.0%程度で最大応力に達しすべり面が形成される。これに対して、支持力試験におけるひずみレベルは主ひずみ(最大圧縮ひずみ)で10%前後であり、拘束圧一定条件(それぞれ2、3、4kgf/cm²)のものと比較する場合非常に大きい。このことは、この点においてかなり高い応力レベルに達していたことを示唆している。

また、すべり面に沿ってひずみ履歴を見た場合、載荷板から離れるに従ってひずみは小さくなり、破壊直前においても主ひずみがほぼ0である領域が存在する。このことによりすべり面に沿って同時に限界状態に達したのではなく、すべり面は動的に進展したものと理解される。

5. 応力再配分

初期の段階に進展したすべり面近傍において、応力の再配分の様子が観察される。図3における、1と2の要素についてひずみ履歴を図6に示す。横軸は載荷点における変位量を表しており、縦軸に体積ひずみをとっている。上方に位置する要素1で体積ひずみが収縮から膨張に転じた、つまりすべり面が発生し最大応力をむかえ、応力の負担を止めた時点で、その斜め下に位置する要素2の体積ひずみが膨張から収縮へと転じ、応力の負担をする様子が示されている。すなわち、載荷点変位量約4mmの段階において、要素1の領域ですべり面の進展があり応力の開放が生じ、それに伴い要素1周辺の要素に対して応力の再配分があったことを示している。

6. 今後の課題

各要素におけるひずみ履歴に従い、平面ひずみ圧縮試験を行なうことによって、支持力試験における各要素の応力履歴を再現することができる。応力履歴が各要素について得られた場合、この支持力試験の応力分布を得ることができる。最終すべり面の進展が動的であったことから考えて、支持力試験のひずみ応力履歴を再現した場合、すべり面が通過した要素の多くにおいて、最大荷重に対応する状態においても破壊(すべり面の発生)が起こるとは考えられない。ある要素の部分は破壊を起こし、破壊に至らない部分も出てくることが予測できる。

最終破壊、最大荷重の予測のために、初期のすべり面発生および進展に伴う応力再配分、材料の非弾性挙動、側方拘束圧のない場合の材料挙動を考慮にいたした上で、最終状態直前の応力分布を得ることが必要となる。その応力分布に基づき、破壊力学の適用(エネルギー解放率)などの方法により、すべり面の動的進展条件を組み合わせることにより、最大荷重の予測が可能となる。

参考文献

- 1) 西上 裕之、金子 岳夫、堀井 秀之、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、第28回土質工学研究発表会講演概説集、1993

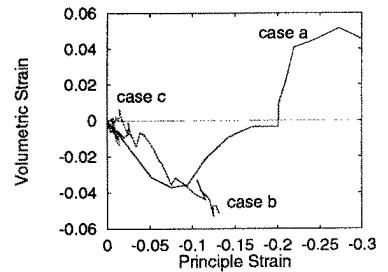


図4 代表的なひずみ履歴

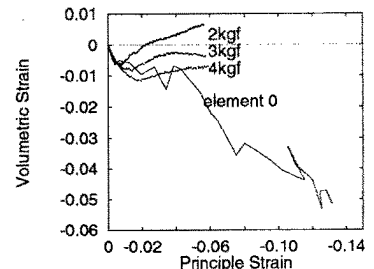


図5 ひずみレベルの比較

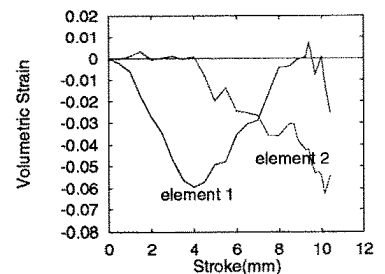


図6 ひずみ履歴