

Ⅲ-A20 人工軟岩材料における進行性破壊の解析と模型実験による検証

○ 東京大学 学生員 柳沢 賢
 運輸省 正 員 佐々木規雄
 東京大学 学生員 星谷 寛
 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重要なことは、真に確保され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。そのためには、終局限界状態を捉えた解析手法の確立が不可欠であり、変形の局所化、進行性破壊、動的破壊といった破壊挙動を支配している現象を考慮する必要がある。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、進行性破壊に着目することとした。進行性破壊現象を解析するためには、ピーク前の非線形弾塑性構成則、破壊条件、そして破壊後のすべり面の特性をモデル化する必要がある。これまでに人工軟岩材料の平面ひずみ圧縮試験を実施し、破壊挙動のモデル化を行った。考え得る3つのケースを取り上げ、共に応力ひずみ曲線が実験結果と一致するようにパラメータを設定した¹⁾。本研究では、平面ひずみ圧縮試験において考えた3通りのモデルを用いて、せん断試験および進行性破壊試験の模型実験について解析を行ない、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、解析手法の妥当性および動的破壊に対する取り扱いの必要性を検討した。

2. 材料挙動のモデル化と解析方法

ピーク前の変形挙動に対しては Drucker-Prager の降伏関数、等方硬化、流れ則を採用し弾塑性構成式を導いた。

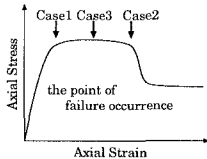


図1 平面ひずみ圧縮試験
 応力-ひずみ曲線(概略)

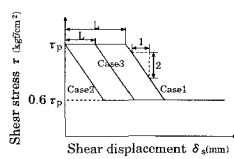


図2 せん断変位-
 せん断応力関係

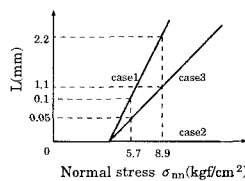


図3 垂直応力とLの関係

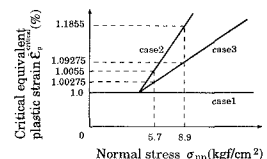


図4 垂直応力と限界ひずみの
 関係

case1: 図1に示す平面ひずみ圧縮試験の応力ひずみ曲線における、高原部分の最初ですべり面が形成されると仮定するものである。相当塑性ひずみの限界値は1%で一定とした。また、図2に示すせん断変位-せん断応力関係において、ピーク応力を保持する変位量Lは垂直応力の関数として図3に示す関係を満たすものとした。

case2: 高原部分では変形が一樣で、軟化が開始する高原部分の最後にすべり面が形成されるとモデル化する。相当塑性ひずみの限界値は図4に示すように、垂直応力に依存するものとし、ピーク荷重を保持する変位量をL=0とした。

case3: case1 と case2 の中間モデルである。相当塑性ひずみの限界値は図4に示すように垂直応力に依存するものとした。またピーク応力を保持する変位量Lは、垂直応力の関数として図3に示す関係を満たすものとした。

前述の3通りのモデル化に基づき、せん断試験および進行性破壊試験の有限要素解析を行った。実験において得られたすべり面位置にインターフェース要素を配置した。そして各インターフェース要素において、相当塑性ひずみが図4に示す限界値に達した後は、図2,3の関係により規定されるせん断変位-せん断応力関係が満足されるものとした。

3. せん断試験

豊浦標準砂、石膏、水から作成した人工軟岩を用いマッチング法²⁾による変位場計測を行なった。実験の概略は図5の通りである。上載荷重が150kgf,300kgf,600kgfの3通りについての実験結果を、荷重変位曲線について図6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

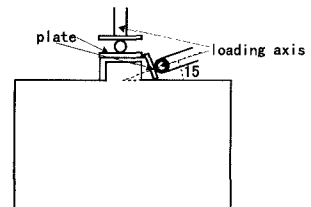


図5 せん断試験概略図

キーワード：変形の局所化、すべり面、進行性破壊、せん断

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL:03-5804-8708 FAX:03-3812-4977

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。図6より、上載荷重が150,300kgf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。また、解析結果の荷重変位曲線を図7~9に示す。解析では全Caseとも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、Case1の600kgfでは硬化挙動を示している。

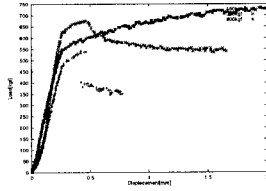


図6 セン断試験実験結果
荷重変位曲線

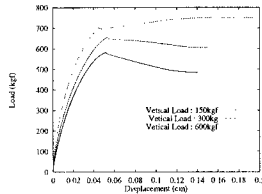


図7 Case1:解析結果

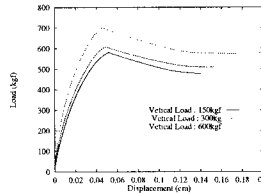


図8 Case2:解析結果

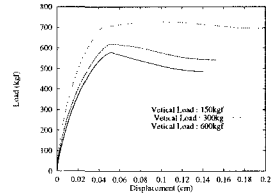


図9 Case3:解析結果

4. 進行性破壊試験の実験結果および解析結果

実験の概略は図10の通りである。実験結果を荷重変位曲線について図11に、また図11における点a,bでの最大せん断ひずみ分布を図13,15に示す。実験では、荷重変位曲線におけるピーク直前まではっきりとした変形の局所化は見られず、ピークを越えたところで初めてすべり面の進展が観測された。

解析結果の荷重変位曲線を図12に示す。実線で示したのが解析結果で、プロットした点が実験結果である。実験結果の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、マッピ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。図12における点A,Bでの最大せん断ひずみ分布を図14,16に示す。これらの図から、解析においてすべり面は安定して進展していることがわかる。

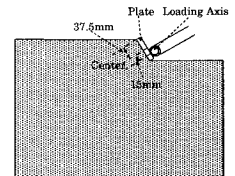


図10 進行性破壊試験
概略図

5. まとめ

せん断試験の解析において Case2 では上載荷重 600kgf のせん断試験における硬化挙動を再現できていない。このことは、すべり面のモデル化において、すべり面が発生してもあるすべり変位量に達するまではせん断応力は保持されるべきであることを示している。実験においては、小さな上載荷重のせん断試験および進行性破壊試験でピーク後に荷重が急減している。これはすべり面の動的進展が原因と考えられる。本解析手法はこのすべり面の動的進展を再現することができない。このことは、動的すべり面進展が生じる場合には、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。そのような場合の限界荷重を解析により求めるためには、動的破壊に対する取り扱いが必要と言える。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。

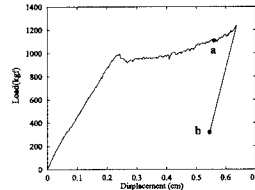


図11 実験結果荷重変位曲線

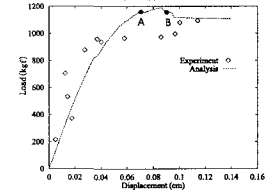


図12 Case1 荷重変位曲線

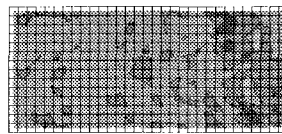


図13 実験結果ひずみ場 (a)

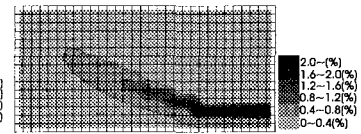


図14 Case1 ひずみ場 (A)

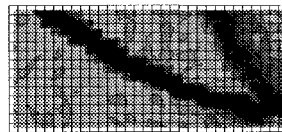


図15 実験結果ひずみ場 (b)

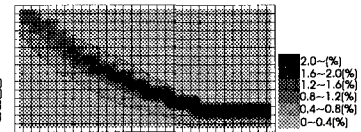


図16 Case1 ひずみ場 (B)

参考文献

- 1) 佐々木, 柳沢, 星谷, 堀井:人工軟岩材料における軟化挙動のモデル化, 地盤工学研究発表会発表講演集, 1998.
- 2) 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, 土質工学研究会発表講演集, 1993.