

埼玉大学 大学院  
新日本開発工業(株)  
埼玉大学 工学部

学員 ○倉持 秀明  
島村 邦夫  
正員 山辺 正

### 1. はじめに

近年、軟岩を対象とする土木構造物の数が増大し、その力学的、工学的性質を十分に把握することが要求されている。そこで、地盤材料の構成関係を明らかにし、有限要素法等の解析手法に基づいて、構造物の挙動予測が行なわれつつある。更に、現実の問題がより複雑になればなる程、地盤材料の構成関係の本質を適確に求めなければならない。しかし、軟岩の構成関係を求めようとするいくつかの試みがなされてはいるものの今のところ、厳密な意味での定式化は成されていないというのが現状である。本報告は、シルト質軟岩を用いた圧密排水三軸試験により、その強度変形特性を求め、せん断過程の弾塑性挙動について論ずるものである。特に、せん断過程の応力経路として、慣用的な拘束圧が一定のものと、平均有効主応力が一定のものの2種類について実験、解析を行った。用いた試料は、新第三紀の堆積軟岩である西山層(新潟)である。今回用いたシルト質軟岩は先の報告等の一部掲載されているもので、構成粒子間の固結力が、その強度変形特性を大きく支配していると考えられる材料である。

### 2. 実験方法

用いた試料の物理諸量を表-1に示す。実験に用いた供試体は直径5cm、高さ10cmの円柱形であり、サクションにより強制飽和させた後、排水条件下で、図-1に示す様な2系統の応力経路のせん断を行った。なお、せん断速度は、0.005%/minであり、間隙圧が発生しない程度に十分低速である。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3-1. 等方応力下における変形特性

図-2に圧縮特性を示す。初期間隙比が非常に大きな材料であり明確な圧密降伏点を有する。圧密降伏応力内の等方応力下における変形量は極めて小さい。逆に、圧密降伏応力を超えるとその変形量は著しく大きくなる。これらの変形特性は強い粒子間固結力に支配されているといえる。

#### 3-2. せん断応力下における強度、変形特性

##### (1). 応力-ひずみ関係

拘束圧一定の場合については文献1を参照されたい。平均有効主応力一定試験としては  $\sigma'_m = 25, 30, 35, 40 \text{ kgf/cm}^2$  の場合について

行った。図-3にその一例を示す。応力-ひずみ関係の初期直線部分は、応力レベルに関係なく、拘束圧一定の

| Sample                          | Nishiyama Siltstone 1 | Nishiyama Siltstone 2 | Nishiyama Siltstone 4 |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Gs                              | 2.61                  | 2.58                  | 2.56                  |
| Wnat (%)                        | 36.60                 | 45.40                 | 47.60                 |
| $\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.43                  | 1.19                  | 1.16                  |
| $\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.89                  | 1.70                  | 1.71                  |
| eq                              | 0.95                  | 1.17                  | 1.20                  |
| no (%)                          | 48.77                 | 53.98                 | 54.63                 |
| qu (kgf/cm <sup>2</sup> )       | 38.10                 | 54.80                 | 50.90                 |
| $\nu_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )  | 5.67                  | 7.20                  | 7.39                  |

表-1 物理諸量

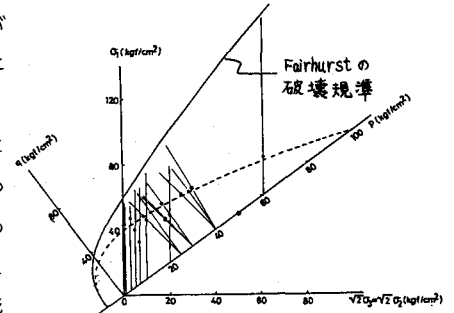


図-1 破壊基準、降伏関数、応力経路

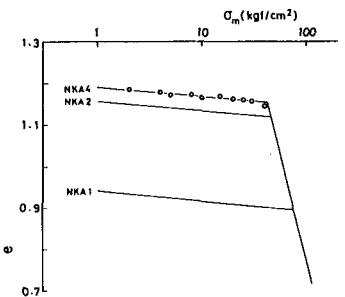


図-2 圧密曲線

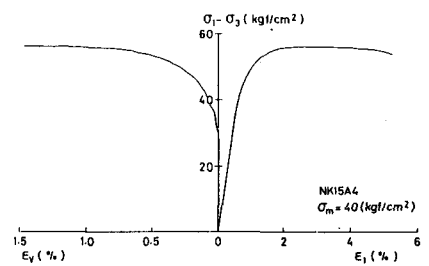


図-3 応力-ひずみ曲線 ( $\sigma'_m = \text{一定}$ )

場合とはほぼ同一の傾きを有する。降伏後、初期降伏点付近の最小主応力  $\sigma_3$  のレベルにより、「ひずみ硬化-軟化型」、あるいは、「ひずみ硬化型」が決定される。つまり、応力-ひずみ関係は初期降伏点付近で  $\sigma_3$  が約  $20 \text{ kgf/cm}^2$  の時に塑性流動、それ以下で「ひずみ硬化-軟化型」、それ以上で「ひずみ硬化型」を示す。また、体積ひずみは初期降伏点付近までほとんど生じない。その後塑性的に体積ひずみが生ずる。次に、最大強度に着目すると、図-1に示す様に比較的簡単なパラメータから決定することができる。Fairhurstの破壊基準で近似することができる。

## (2). 土質材料の構成モデル適用の検討

近年、地盤材料の構成式に関する研究が盛んに行われ、各種の構成式が提案されている。そこで、Cam Clay<sup>2)</sup>、Modified Cam Clay<sup>3)</sup>、及び Pender<sup>3)</sup> のモデルが本軟岩に適用し得るかどうかを検討した。図-4にその結果を示す。いずれも本軟岩には適用不可能である。その原因として、固結力の存在がモデルの材料定数に大きな影響を及ぼしているためと考えられる。

## (3). 降伏関数の適用

先の報告<sup>1)</sup>に詳しいが、拘束圧一定の場合に適用可能であった。赤井ら、Brownらの提案した降伏関数について検討した。図-1に示す通り、平均有効主応力一定の場合に対してもかなりよい近似が得られた。ただし、せん断応力下の降伏点と等方応力下の降伏点を同一の降伏関数で表現出来ない点が問題である。これは、せん断と等方的圧縮の機構の差が固結力の存在に多大な影響を及ぼしているためと考えられる。

## (4). 塑性ポテンシャルについて

本報告は、非関連流則を適用するものである。まず、応力-ひずみ関係の初期直線部分から弾性定数を決め、全ひずみ増分から塑性ひずみ増分を分離し、その体積分とせん断成分に着目して、楕円形の塑性ポテンシャル関数を考える。ここで、拘束圧一定のせん断試験から求めた応力依存性の楕円パラメータ  $[a, b]$  (文献1参照)の式から、他の応力径路に関するパラメータ  $[a, b]$  を予測することが可能である。(図-5) 平均有効主応力一定の時のパラメータについて予測値と実験値を比較したものを図-6、7に示す。比較的よい結果が得られた。

また、繰返しせん断試験から得られた応力-ひずみ曲線において、繰返し部分の傾きから弾性定数、及び、ポアソン比を決定し、これを用いて全ひずみ増分から塑性ひずみ増分を分離する方法を試みた。この場合の、楕円パラメータを検討すると、前述の結果と同様の値となる事が判明した。

## 4. まとめ

平均有効主応力一定の応力径路に対しても紡錘形の降伏関数、及び、楕円形の塑性ポテンシャルが適用可能である。今後は、ハードニングパラメータ等について検討する必要がある。

参考文献 1) 吉中, 山辺, 他 ('84) 第18回岩盤力学に関するシンポジウム。

2) Schofield, A.N. and C.P. Wroth: Critical State Soil Mech., 3) Pender ('78) Geotech. vol.28, No.1, PP.1~25

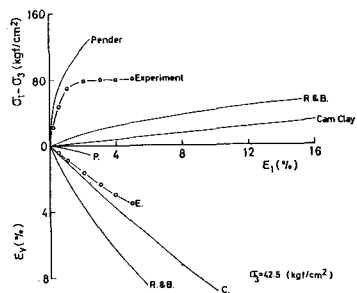


図-4. 土質材料の構成モデルと軟岩

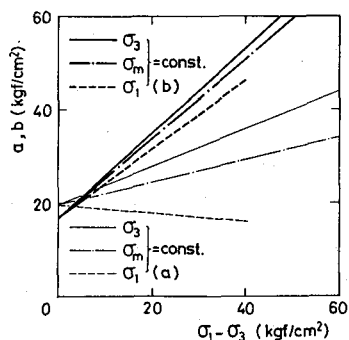


図-5. 楕円パラメータ (a, b)

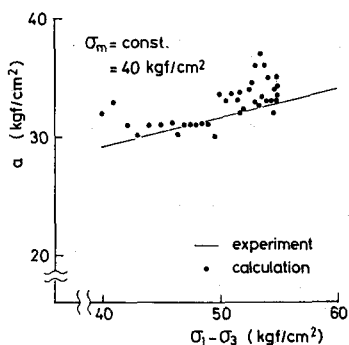


図-6. 楕円パラメータ a

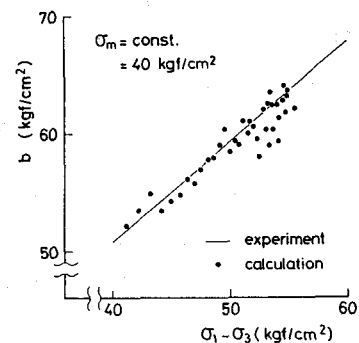


図-7. 楕円パラメータ b