

Ⅲ－40

供試体の寸法・形状効果と変形分岐モード

○東北大学工学部 学生員 寺井 信夫
 東北大学工学部 正会員 池田 清宏
 東北大学工学部 学生員 山川 優樹

1. 序論

材料の強度試験では、供試体を均質として見なし、荷重 - 変位関係や最大荷重だけを情報源として材料特性を把握することが広く行われている。しかし実際には供試体は、荷重のピークを迎える前から内部で変形その他の局所化が進行し、ピーク後の荷重不安定が続く間に滑り線の発生、破断等により全体の破壊に至る、というプロセスを経て供試体は破壊する。

このような材料の破壊現象は、幾何学的非線形性と材料非線形性の両者が重なり合った複雑な現象であると認識すべきであるが、破壊プロセスにおいてそれら各々の寄与分を予測するのは困難な問題である。特に、軟化や滑り線の発生などは構成モデルのレベルで材料非線形だけで説明しようとする傾向がある。しかし、座屈という幾何学的非線形現象が線形弾性体でも生じることを考えると、材料非線形性だけで、軟化・破壊挙動を説明することは不十分であると言える。

この考えに基づき、材料の破壊現象に幾何学的非線形性の及ぼす影響の程度を調べるため、豊浦砂の三軸圧縮試験を供試体の直径あるいは高さを各々変化させて行うことにより、発現する分岐変形モード、強度、分岐荷重に対する供試体形状依存性についての考察を行った。

2. 実験方法

実験は豊浦砂の圧密排水試験で、軸ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_a = 0.5 \text{ \%}/\text{min}$ 、側圧 $\sigma_3 = 1.0 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ (セル圧 2.0, 背圧 1.0) で行った。供試体上下端面には lubrication layer を設置し、端面摩擦の影響の低減を図った。また、キャップの回転自由度は拘束して載荷した。相対密度は $85.0\% \pm 3\%$ 以内に設定した比較的密な供試体である。実験で用いた供試体の寸法を表-1 に示す。載荷終了後に供試体に現れるせん断帯のスケッチを行う。

3. 実験値の解析及び考察

実験で得られた各供試体のせん断帯のスケッチをせん断帯の間隔でまとめる。せん断帯の間隔は、各せん断帯がほぼ平行に発生していることから、2つの隣り合うせん断帯を垂直に結ぶ線分の長さをせん断帯の間隔として定義した。せん断帯の間隔数は各供試体ごとで異なるので間隔の度数を一定にした。せん断帯の間隔を各寸法ごとにまとめた例を図-1 に示す。横軸には供試体長で除することによって無次元化したせん断帯の間隔、縦軸は無次元化したせん断帯の間隔の度数である。各寸法ごとの無次元化したせん断帯の間隔と無次元化したせん断帯の度数の関係の標準偏差をまとめたものを図-2、図-3 に示す。図-2より、高さが一定であれば供試体の直径が大きくなるにつれ、標準偏差が小さくなっており間隔の幅が周期的になっていることが分かる。また図-3より、直径一定のもとでは高さが高いほど標準偏差が大きくなる傾向があり、間隔の幅がばらついていることが分かる。すなわち、寸法比 H/D の値が小さくなるほど間隔の幅が周期的になり、逆に寸法比が大きくなれば間隔の幅がばらついていることが分かる。さらに、寸法比が小さくなるほど間隔の幅が周期的になるということはよく似たせん断帯のパターンが現れているといえ、同様に、寸法比が大きくなると異なったせん断帯のパターンが現れているといえる。

表-1 供試体の寸法

	直径 $D \text{ (cm)}$	高さ $H \text{ (cm)}$
1	3.5	5.0
2	3.5	10.0
3	5.0	5.0
4	5.0	7.5
5	5.0	10.0
6	5.0	15.0
7	6.0	10.0
8	7.0	10.0
9	8.0	10.0

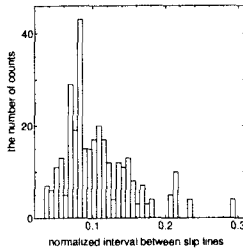


図-1 $D=3.5$, $H=5$ セン断帯の間隔

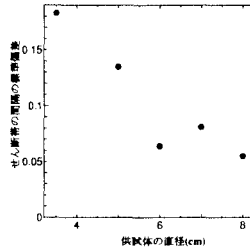


図-2 D による標準偏差の変化

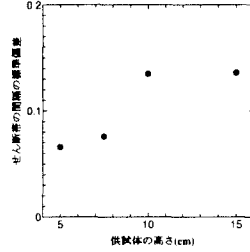


図-3 H による標準偏差の変化

次に、軸ひずみによる供試体の主応力差の変化、体積変化についてまとめる。主応力差の変化と体積変化を各寸法ごとにまとめた例を図-4、図-5に示す。

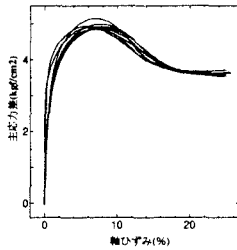


図-4 $D=3.5, H=5$ 供試体の荷重曲線

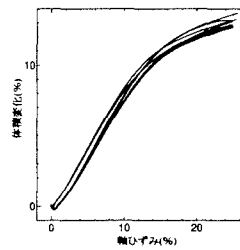


図-5 $D=3.5, H=5$ 供試体の体積変化

供試体の直径 D を一定にして、高さ H と最大主応力差の関係を図-6に、高さ H を一定にして、直径 H と最大主応力差の関係を図-7に、寸法比 H/D と体積変化(軸ひずみ10%, 20%)の関係を図-8に示す。

図-6より、供試体の高さが一定であれば直径が大きくなるにつれ、最大主応力差は大きくなっているのが分かる。同様に、直径が一定のもとでは高さが高くなるほど強度が低くなると考えられるが、図-7を見ると、 $H=10$, $H=15$ のところでその傾向が逆になっている。この結果は、予想に反するものであるが図-6の最大主応力差の平均の変動に比べると、図-7の変動は小さいので、高さの変化による最大主応力差の変化はあまりないとみなすことができる。それを考慮すれば、寸法比が小さくなるほど最大主応力差は大きくなるといえる。図-8より、寸法比が小さくなるにつれて軸ひずみによる体積変化が大きくなるといえる。

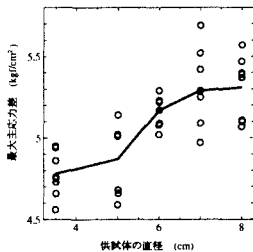


図-6 直径による最大主応力差の変化

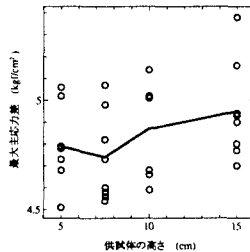


図-7 高さによる最大主応力差の変化

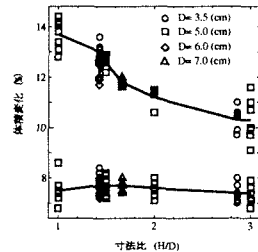


図-8 寸法による体積変化の変化

4. 結論

豊浦砂の三軸試験の結果の解析で、寸法比が小さいほど、強度が増し、体積変化が軸ひずみ10%以降大きくなることが確認された。また寸法比が大きくなると、異なったせん断帯のパターンが出やすくなることが確認された。このように、材料の軟化破壊現象は、材料物性だけによるものではなく、供試体の寸法形状や変形破壊モードの影響も考慮に入れる必要があることが分かる。

参考文献

- 1) Ikeda, K. and Murota, K.: Recursive bifurcation as sources of complexity in soil shearing behavior, *Soils and Foundations*, Vol. 37, No. 3, pp. 17-29, 1997.
- 2) Ikeda, K., Murota, K., Yamakawa, Y. and Yanagisawa, E.: Mode switching and recursive bifurcation in granular materials, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, Vol. 45, No. 11/12, pp. 1929-1953, 1997.