

Ⅲ-A38

砂の供試体の分岐変形モードと寸法・形状効果

○東北大学工学部	学生員	鈴木 英明
東北大学工学部	学生員	山川 優樹
東北大学工学部	正会員	須藤 良清
運輸省港湾技術研究所	正会員	山崎 浩之
東北大学工学部	正会員	池田 清宏

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、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り、例えば Ikeda and Goto¹⁾ は、供試体の境界条件や寸法・形状等の影響を受けるため、要素試験として適切な結果が得られないのではないかとしている。そこで本論文は、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、分岐荷重の寸法効果を調べた。

2. 他の材料、構造モデルの寸法・形状効果

砂の供試体との比較のため、砂の供試体以外の寸法・形状効果について述べる。Niles²⁾ は岩の強度試験により、断面一定で高さを変化させると、ある高さを境に圧縮強度が減少、増加を繰り返すことを示した。

また、Timochenko and Gere³⁾ は図-1 のような弾性床上の梁モデルの形状効果として、図-2 のように波数の変化に伴い、最小分岐荷重 $(P_c)_{\text{lowest}}$ が減少、増加を繰り返していることを示した。これは、前述の岩の供試体の寸法効果に類似している。

3. 実験条件

実験は豊浦砂の圧密排水試験で、軸ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_a = 0.25 \text{ \%}/\text{min}$ 、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。相対密度は平均 75.7 % の比較的密な供試体である。

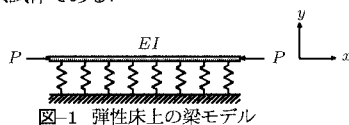


図-1 弾性床上の梁モデル

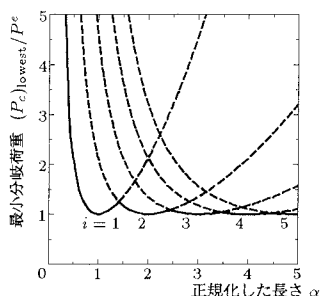


図-2 梁モデルの分岐荷重



図-3-a 1 次

図-3-b 2 次

図-3-c 3 次

図-3 変形モードの例

4. 実験結果の解析及び考察

分岐後 ($\epsilon = 6 \text{ \%}$) の供試体の側面形状を写真で記録したものを Fourier 変換し、スペクトル分解して分岐変形モードを求めた。ここで、図-3 に、1 次、2 次、3 次モードのが発現した供試体の例を示した。図-4、図-5 に分岐変形モード別の供試体の高さ又は直径と分岐荷重の関係を示した。ここで、各直線は同一の寸法、変形モードの供試体の分岐荷重を平均した値を表したものである。これより、直径一定の下では供試体の高さが大きくなるほど、より高次のモードが現れることが判明した。また、供試体の直径についても寸法依存性があることいえる。

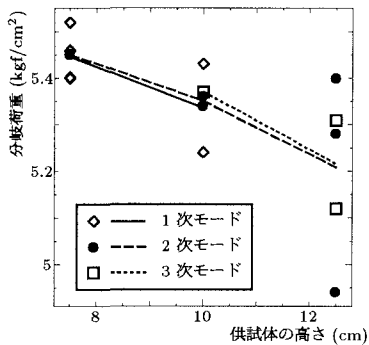


図-4 モード毎の分岐荷重と高さの関係

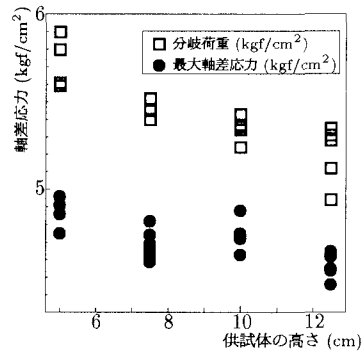


図-6 高さ H と分岐荷重, 最大軸差応力の関係

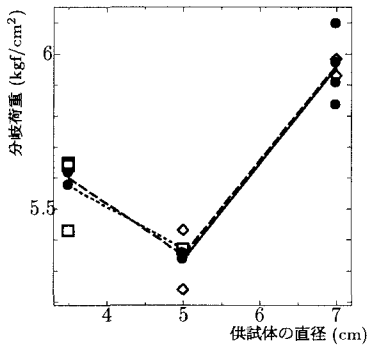


図-5 モード毎の分岐荷重と直径の関係

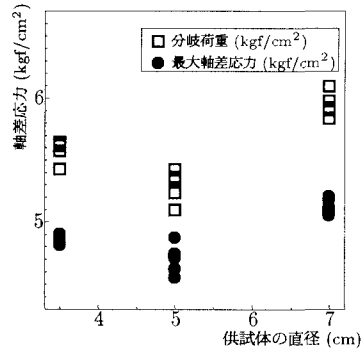


図-7 直径 D と分岐荷重, 最大軸差応力の関係

また、図-4、図-5 中の平均値を結んだ直線を見ると 1, 2, 3 次モードの発現荷重は非常に近接しており、ある特定の寸法の供試体に着目してもどのモードが発生するかが不明確な状態になっている。この状況はモードスイッチング現象が起きているものと理解できる。各分岐モードの最大荷重の変動は非常に大きい。このような各分岐モードの強度変動、すなわち、分岐理論という初期不整による変動と、分岐モードの変動が混在していることが、この系の現象のメカニズムを複雑にし、その記述を難しくしているものと思われる。

直径 $D = 5$ cm の時の高さ H と分岐荷重, 最大軸差応力との関係を 図-6 に、高さ $H = 10$ cm の時の直径 D と分岐荷重, 最大軸差応力との関係を 図-7 にそれぞれ示す。直径 D 一定の下では高さ H が小さくなるほど、分岐荷重, 最大軸差応力共に増加する傾向が認められる。高さ一定の下では、直径一定の時ほどの規則性は見られなかったが、直径の値により分岐荷重, 最大軸差応力共に変動していることがわかった。

5. 結論

以上の考察より、次のような結論が得られた。

- 1) 砂の三軸圧縮試験において、供試体の強度、分岐荷重が寸法・形状によって変動することが確認できた。
- 2) 直径一定の下では高さが大きくなるほど、高さ一定の下では直径が小さくなるほどより高次のモードが発現しやすくなることが示された。
- 3) 岩や弾性床上の梁モデルとの比較により、寸法・形状の変化に伴うモードの変化が、分岐荷重の変動に関与していることが説明できた。

参考文献

- 1) Ikeda, K. and Goto, S.: Imperfection sensitivity for size effect of granular materials, *Soils and Foundations*, Vol. 33, No. 2, pp. 157-170, June 1993.
- 2) Niles, E. G.: Specimen proportion key to better compressive strength test, *Mining Engineering*, pp. 31-33, 1963.
- 3) Timoshenko, S. P. and Gere, J. M.: *Theory of Elastic Stability*, McGraw-Hill, Tokyo, 1936.