

鹿児島大学工学部 正員 北村 良介
 京都大学防災研究所 正員 足立 紀尚
 京都大学大学院 学生員 都司 尚

1. まえがき

著者は、これまで砂質土のせん断特性をエネルギー的な立場から考察し、構成関係の誘導に際し、供試体になされる仕事量が重要な物理量になることを指摘してきた^{1), 2)}。そして、単調載荷のせん断過程では供試体になされる仕事量と応力比の間に双曲線関係が存在することを明らかにしてきた³⁾。

今回の発表では、豊浦標準砂を用いた側圧 $2 \times 10^2 \text{ kN/m}^2$ (低圧), $30 \times 10^2 \text{ kN/m}^2$ (中圧) のもとでの排水、三軸圧縮試験を行い、その結果についてエネルギー的な立場より若干の考察を加えることにする。

2. 実験および実験結果

用いた試料は豊浦標準砂であり、供試体は凍結法により作成された。せん断試験は供試体を所定の圧力で等方圧縮した後、 u の制御で行った(実験装置、手順の詳細な説明は参考文献(4)を参照)。表-1に供試体作成時および等方圧縮終了時の空隙比が示されている。表-1において、側圧 $2 \times 10^2 \text{ kN/m}^2$ の密な供試体は、供試体作成時より等方圧縮終了時の方が大きい空隙比を示している。これは、供試体作成時に凍結していた空隙水が等方圧縮終了時には融解したためと考えられる。得られた応力 u の関係が図-1に示されている。ここに、 $q = \sigma_1 - \sigma_3$: 軸差応力, $p = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3)$: 平均有効主応力, ϵ_1 : 軸 u のみ, ϵ_3 : 側方 u のみである。図より応力 u の関係は空隙比、拘束圧に依存することが明らかである。

表-1 初期空隙比

側圧	供試体作成時	等方圧縮終了時	備考
$2 \times 10^2 \text{ kN/m}^2$	0.648	0.622	密
2×10^2	0.912	0.805	緩
30×10^2	0.667	0.597	密
30×10^2	0.842	0.760	緩

3. エネルギー的考察

3.1 Stress-dilatancy関係をもとにした考察

三軸圧縮試験において、供試体になされる仕事増分 ΔW は次式で計算される。

$$\Delta W = \sigma_1 \cdot d\epsilon_1 + 2\sigma_3 \cdot d\epsilon_3, \quad \text{ただし, } d\epsilon_1, d\epsilon_3: \text{主 } u \text{ の増分.} \quad (1)$$

今、RoweのStress-dilatancy関係が成立するものとする。三軸圧縮条件に対して、それは次式のようにあらわされる。

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = 2K \cdot \left(-\frac{d\epsilon_3}{d\epsilon_1}\right), \quad \text{ただし, } K = \tan^2\left(45 + \frac{1}{2}\phi_f\right) \quad (2)$$

(2)式を(1)式に代入し、 σ_3 を消去すると次式のようになる。

$$\Delta W = 2 \cdot \sigma_3 \cdot (1-K) \cdot d\epsilon_3 \quad (3)$$

(3)式を積分することにより、側圧一定条件のもとでは供試体になされた全仕事量 W は次式であらわされる。

$$W = \sum \Delta W = 2 \cdot \sigma_3 \cdot (1-K) \cdot \epsilon_3 \quad (4)$$

(4)式の両辺を σ_3 で割ると、次式のようになる。

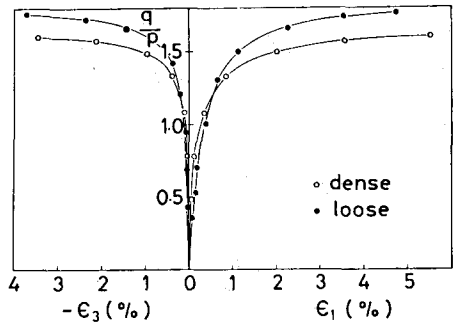


図-1(a) 応力 u の関係 ($\sigma_0 = 2 \times 10^2 \text{ kN/m}^2$)

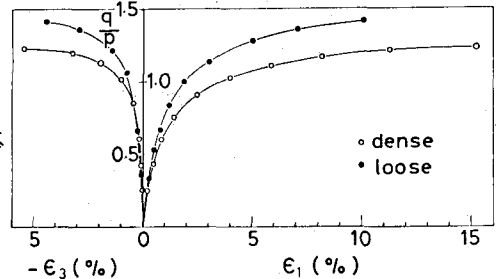


図-1(b) 応力 u の関係 ($\sigma_0 = 30 \times 10^2 \text{ kN/m}^2$)

$$\frac{w}{\sigma_3} = 2 \cdot (1-K) \cdot \sigma_3 \quad (5)$$

(2)式を検証するために、 σ_3 と $(-d\epsilon_3/d\epsilon_1)$ 関係で実験結果を整理したものが図-2に示されている。また、(5)式の関係を検証するために、 w/σ_3 と $(-d\epsilon_3/d\epsilon_1)$ 関係で整理したものが図-3に示されている。図-2をみれば、(2)、(5)式中のKの値は間隙比にはほぼ依存しないとみられてよいか、拘束圧の範囲を大きくすれば、拘束圧に依存することがわかる。また、図-3をみれば、Kの値は間隙比、拘束圧に依存することが明らかである。

3.2 諸戸の新しいパラメータをもとにした考察

すでに、筆者らは単調載荷のせん断過程において、仕事量と応力比の間には双曲線関係が存在するが、その関係を規定する2つの係数が間隙比、拘束圧に依存することが明らかにした³⁾。一方、諸戸⁴⁾は、砂質土のせん断過程を評価する新しいパラメータとして仕事量を平均有効主応力で正規化した量を提案している。この新しいパラメータと応力比の関係を図-4に示している。ここに、 $\eta = \frac{w}{\sigma_3}$ である。図より、 $(w/p)/\eta$ と w/p の間には線形関係が存在し、したがって、 w/p と η の間には次式であらわされる双曲線関係が成立する。

$$\eta = \frac{w/p}{a + b \cdot w/p} \quad (6)$$

ここに、 a, b : 双曲線を規定する係数。

しかし、図をみれば明らかのように、 $(w/p) \sim \eta$ 関係においても(6)式中の係数 a, b は拘束圧、間隙比に依存する量であることがわかる。

4. あとがき

筆者らはエネルギーという物理量に着目し、地盤材料の力学特性を解明するための一考察を行った。得られた結果をまとめると次のようである。

- 1) RoweのStress-dilatancy eq.に含まれるKの値は拘束圧の範囲を大きくすれば拘束圧によって変化し、また、エネルギー的な立場からの整理を行えば、間隙比にも依存する。
- 2) 諸戸の提案している新しいパラメータと応力比の間にも双曲線関係が存在するが、仕事量と応力比の関係と同様に、その係数は間隙比、拘束圧に依存する。

最後に、3節の考察は名工中井助平の助言およびテラスカマコにより生まれたものであり、ここに深謝の意を表します。また、データ整理の手伝いをしてくれた鹿児島大学谷口助平、城本技官に感謝いたします。

(参考文献) 1) 北村, 足立; 土学会年報, II-39, 1977, 2) 北村, 足立; 土学会年報, III-1, 1978, 3) 北村, 足立; 土学会年報, II-7, 1979, 4) 足立, 北村, 都司; 第5回工環工学研究発表会, 1980, 5) Murato, Y.; S&F, Vol. 16, No. 4, 1976

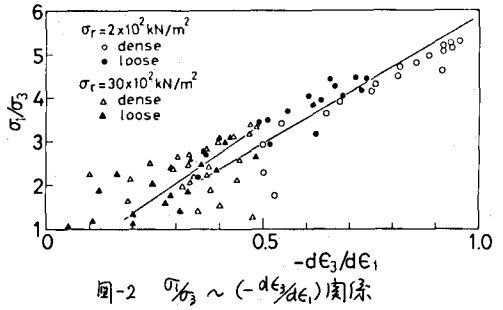


図-2 $w/\sigma_3 \sim (-d\epsilon_3/d\epsilon_1)$ 関係

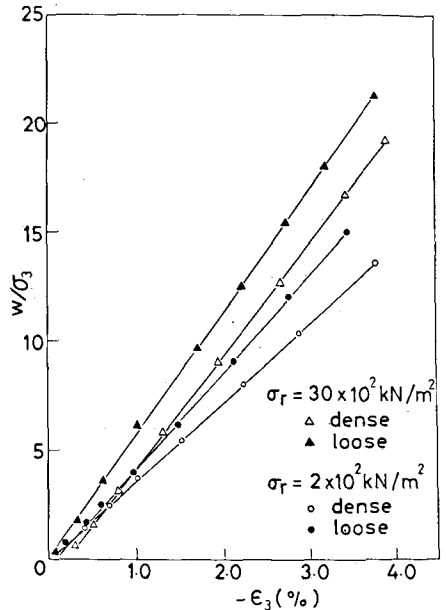


図-3 $w/\sigma_3 \sim (-\epsilon_3)$ 関係

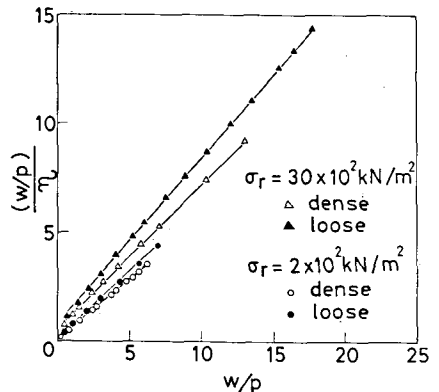


図-4 $(w/p)/\eta \sim w/p$ 関係