

粒状体の変形挙動に対するエネルギー的考察(その1)

鹿児島大学工学部 正会員 北村 良介
同 上 学会員 ○ 新地 正志

1. まえがき

北村は粒状体の変形挙動を解析するため、粒子スケールでの考察をもとにマルチスケールモデルと称する力学モデルを提案してきている¹⁾。このモデルにおいては粒状体になされた仕事量が重要な物理量として用いられており、それを実験的、あるいは、理論的に導くための若干の考察を加えてきた²⁾³⁾。本報告では、三軸実験装置を用いて足立⁴⁾、北村⁵⁾によって行われた側圧一定せん断試験、応力比一定圧縮試験結果をもとに、粒状体になされた仕事量と応力に着目し、実験的な関係式を導いてきている。

2. 実験データの整理と考察

2.1 三軸実験

実験に用いた試料は豊満標準砂である。図-1に実験で採用した応力経路を示している。すなわち、足立⁴⁾の実験では等方圧縮後、側圧一定条件のもとで圧縮せん断を行っている。また、北村⁵⁾の実験では応力比 $K = \sigma_3 / \sigma_1$ (ここに、 σ_1 : 最大主応力、 σ_3 : 最小主応力) を一定に保ちながら $\sigma_3 = 30 \text{ kgf/cm}^2$ まで σ_1, σ_3 を増加させ、その後、側圧一定のもとで圧縮せん断を行っている。これらの実験は、すべて排水条件で行われている。実験手順に関する詳しい記述は参考文献4)、5)を参照されたい。

表-1には、足立⁴⁾の行った実験における供試体の初期間隙比が、せん断過程での側圧とともに示されている。表-2には、北村⁵⁾の行った実験における供試体の初期間隙比と応力比が示されている。

2.2 データ整理と考察

仕事量は次式を用いて計算された。

$$W = \sum (\Delta W) = \sum (\sigma_1 d\epsilon_1 + 2\sigma_3 d\epsilon_3) \quad (1)$$

ここに、 W : 粒状体になされた単位体積当たりの仕事量、 ΔW : 粒状体になされた単位体積当たりの仕事量、 σ_1, σ_3 : 最大、最小主応力、 $d\epsilon_1, d\epsilon_3$: 最大、最小主ひずみ増分。図-2, 3, 4は(1)式を用いて計算された仕事量 W と合応力 ($\sigma_m^2 + \sigma_{oct}^2$) との関係は両対数教線上にプロットしたものである。ここに、 $\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_1 + 2\sigma_3)$; 平均有効主応力、 $\sigma_{oct} = \frac{\sqrt{2}}{3}(\sigma_1 - \sigma_3)$; 正八面体せん断応力である。

図-2は、足立⁴⁾の行った密な供試体より得られたもの、図-3は足立⁴⁾の緩い供試体より得られたもの、そして図-4は、北村⁵⁾の緩い供試体より得られた結果である。図-2, 3, 4より、応力比一定圧縮過程(等方圧縮を含む)およびせん断過程での W と ($\sigma_m^2 + \sigma_{oct}^2$) の間の関係は両対数教線上で、各供試体に対して傾きの異なる2本の直線で

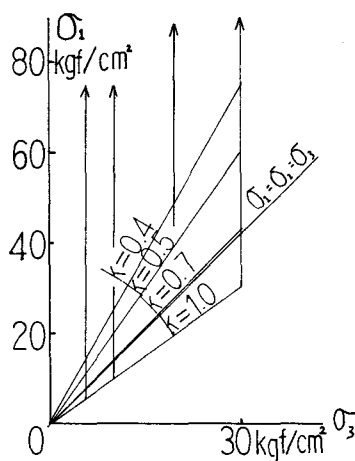


図-1

表-1 足立らの実験⁴⁾

側 圧 kgf/cm ²	初 期 間 隙 比	
	緩	密
6.0	0.888	0.678
10.0	0.840	0.659
20.0	0.895	0.649
30.0	0.842	

表-2 北村らの実験⁵⁾

応 力 比	初 期 間 隙 比
1.00	0.784
0.70	0.763
0.50	0.831
0.40	0.834

近似的にあらわせることがわかる。また、応力比一定圧縮過程では、応力比に依存せず1本の直線であらわされること、そしてその傾きは、初期間隙比に依存すること、せん断過程では、その傾きが、初期間隙比にも側圧にも依存しないことがわかる。図-5は、これらの特性を模式的に示したものである。これらの関係を式示すと次のようになる。

応力比一定圧縮過程

$$\log_{10} W = a_1 + b_1 \log_{10} (\sigma_m^2 + \tau_{oct}^2) \quad (2)$$

ここに、 a_1 、 b_1 ：粒状体の初期間隙比によって決まる材料定数。

せん断過程

$$\log_{10} W = a_2 + b_2 \log_{10} (\sigma_m^2 + \tau_{oct}^2) \quad (3)$$

ここに、 a_2 ：せん断過程の側圧によって決まる定数、

b_2 ：粒状体の種類によって決まる材料定数。

図-2,3,4より豊満砂に対して、 a_1 は緩い場合 0.83、密な場合 -2.15、 b_1 は緩い場合 0.41、密な場合 0.85、となっている。 b_2 については、初期間隙比にも側圧にも依存せず 3.0前後となっている。

図-6は、(2)、(3)式で示される関係も3次元の $W \sim \sigma_m \sim \tau_{oct}$ 空間に模式的に示したものである。すなわち、 $W \sim \sigma_m \sim \tau_{oct}$ 空間では、応力比一定曲面が最も外側にあり、その内側に相似なせん断曲面が重なって存在していることを示している。この曲面は塑性論における塑性ポテンシャル曲面に対応しているものと考えられる。

3・あとがき

これまでに得られた豊満砂を用いた三軸実験データをもとに、応力比一定圧縮過程、せん断過程でなされる仕事量 W が合応力 $(\sigma_m^2 + \tau_{oct}^2)$ との間に(2)、(3)式であらわされる関係が存在することを示した。そして、(2)式中のパラメータ a_1 、 b_1 は初期間隙比に、そして、(3)式中の a_2 はせん断過程での側圧によって決まる定数、 b_2 は材料に依存する係数となることを明らかにした。

本研究は、名古屋大の中井助教授の助言が契機となって進められたものです。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 北村 5 ; 第19回土壌工学研究会、1984
- 2) 北村 5 ; 第35回土木学会年次講演会、1980
- 3) 川井田、北村 ; 第39回土木学会年次講演会、1984
- 4) 足立 5 ; 第15回土壌工学研究発表会、1980
- 5) 北村 5 ; 第19回土壌工学研究発表会、1984

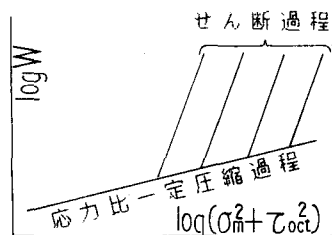
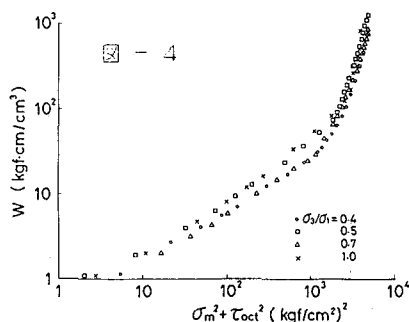
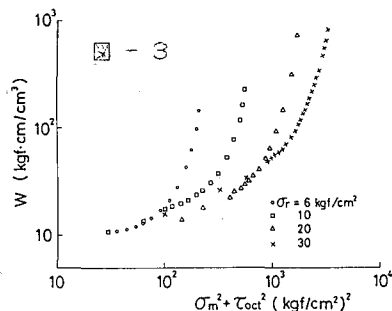
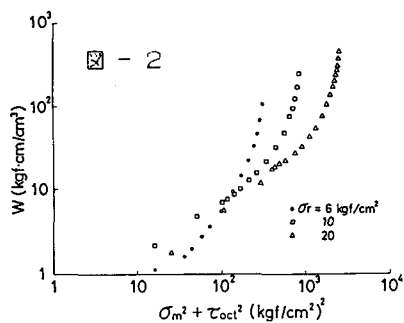


図 - 5

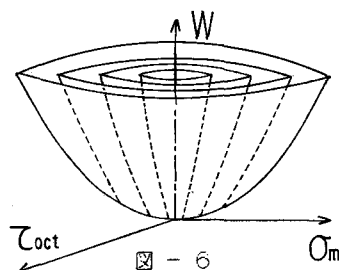


図 - 6