

高圧を受けた砂の圧縮特性

京都大学名誉教授 正員 村山朔郎

摂南大学 工学部 正員 道広一利

川崎地質(株) 正員 ○坂上敏彦

1. はじめに 砂の等方圧縮過程において生じる、降伏値、粒子破碎、クリープ変形(体積ひずみの時間依存性)等について、高圧三軸試験結果を基に考察を行なったので、ここに報告する。

2. 試料および実験方法 供試体は、水が満たされたモールド内に一定高さより砂を自然落下させ、冷凍庫で凍結させた後、成形した。使用した砂は豊浦標準砂で、諸物性および供試体の初期間隙比(e_0)を表-1に示

表-1

比重(G_s)	均等係数(C_u)	最大粒径($D_{max.}$)	初期間隙比(e_0)
2.65	1.58	420 μm	0.80~0.85

した。実験は、自動制御型の高圧三軸圧縮試験機を使用し、拘束圧を $\sigma_m' = 2.0 \sim 8.0 \text{ kgf/cm}^2$ (σ_m' : 平均有効主応力)の範囲で残留体積ひずみがほぼ一定になるまで繰返し載荷し、この状態を実験における初期状態とした。今回の実験では、10回程度の繰返し回数で残留体積ひずみがほぼ一定値となった。つぎに、同一供試体に σ_m' を段階的に載荷しそれぞれの σ_m' の下で約240分間放置し、体積変化量を計測した。

3. 実験結果と考察

1) $e - \log \sigma_m'$ 関係 図-1の $e - \log \sigma_m'$ 関係は、等方繰返し圧縮履歴を与えない場合を黒丸で、等方繰返し圧縮履歴を $\sigma_m' = 2.0 \sim 8.0 \text{ kgf/cm}^2$ の範囲で与えた場合を白丸で示している。図より、 σ_m' が 100 kgf/cm^2 以上の応力範囲では、圧縮履歴の有無に関係なく同一の直線で表わされ、三浦が指摘するように高圧下における降伏値の存在がうかがわれる。今回の場合、高圧下における降伏値は図に

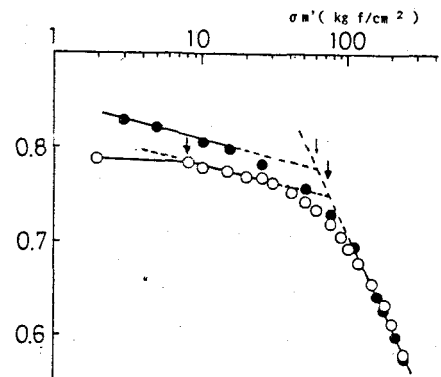


図-1

示した直線関係より推定すると圧縮履歴が有る場合 $\sigma_m' = 75 \text{ kgf/cm}^2$ 、圧縮履歴が無い場合 $\sigma_m' = 65 \text{ kgf/cm}^2$ となる。一方、高圧下の降伏値よりも低い応力範囲では、 $e - \log \sigma_m'$ 関係はほぼ直線で示されるが、圧縮履歴が有る場合は、 $\sigma_m' = 8.0 \text{ kgf/cm}^2$ (圧縮履歴の上限値)で折点が存在する。これは、等方繰返し圧縮履歴等の応力履歴によって生じる降伏値が存在し、広範囲な応力下での砂の等方圧縮過程は、二つの降伏値

によって三領域に分類されると考える事ができる。

2) 粒子の破碎状況 各 σ_m' 載荷終了時の粒度分析結果から、粒径が D_1 、 D_2 、 D_3 ($420 \mu m \geq D_1 > 250 \mu m$ 、 $250 \mu m \geq D_2 > 149 \mu m$ 、 $D_3 \leq 149 \mu m$) の砂の割合が、 σ_m' の変動に伴いどのように変化するかを示したのが、図-2である。縦軸は、重量百分率、横軸は σ_m' である。なお、図中の黒丸は、実験開始前のデータである。全体の傾向としては、高压下の降伏値 $\sigma_m' \approx 75 \text{ kgf/cm}^2$ 付近から、粒径 D_1 、 D_2 の粒子が減少し、それに対応して比較的小さな粒子 D_3 の割合が増大している。また、 $\sigma_m' = 100 \text{ kgf/cm}^2$ を超えると各粒径 (D_1 、 D_2 、 D_3) の砂の割合は、ほぼ一定となる。しかし、粒径 D_3 の砂の内、特に $74 \mu m$ 以下の細粒子の割合が、 σ_m' と共に増加しているのがわかる。(図-3) 今回の結果をみると、高压下の降伏値 ($\sigma_m' \approx 75 \text{ kgf/cm}^2$) 付近の応力では、比較的大きな粒子が急激に破碎され、 σ_m' が 100 kgf/cm^2 を超えるとより小さな粒子の破碎が主体となるようである。

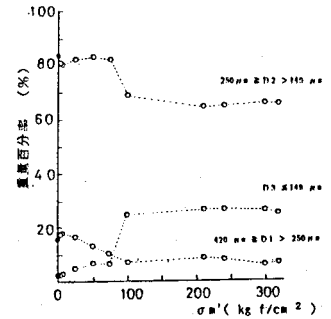


図-2

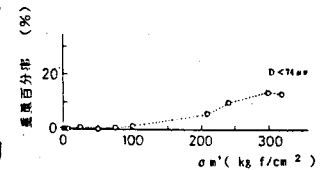


図-3

3) 体積ひずみの時間依存性 各 σ_m' において得られた体積ひずみ (ϵ_v) と経過時間 (t) の関係を基に、ひずみ速度 ($d\epsilon_v / dt$) と σ_m' の関係を求めると、図-4となる。応力範囲が、 $\sigma_m' < 50 \text{ kgf/cm}^2$ の場合、ほぼ $\dot{\epsilon}_v = 0$ でクリープ変形は小さい。次に、応力範囲が、 $50 \text{ kgf/cm}^2 \leq \sigma_m' < 120 \text{ kgf/cm}^2$ に達すると、高压下の降伏値 ($\sigma_m' \approx 75 \text{ kgf/cm}^2$) を中心に $\dot{\epsilon}_v$ は、急激に上昇し、その後若干低下傾向を示す。さらに、 $\sigma_m' \geq 120 \text{ kgf/cm}^2$ では σ_m' と共に、徐々に増加する傾向を示す。粒子の破碎状況と対比すると、 $\sigma_m' \approx 75 \text{ kgf/cm}^2$ を中心とする $\dot{\epsilon}_v \sim \sigma_m'$ 関係のピークは、比較的大きな粒子の破碎に対応し、 $\sigma_m' = 120 \text{ kgf/cm}^2$ 以上では、より細粒子の破碎に対応しているように思われる。

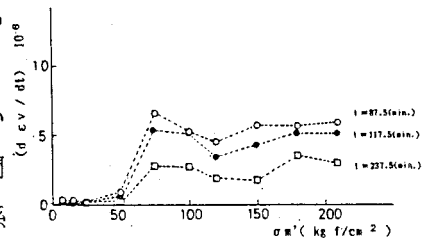


図-4

4. おわりに 以上、砂の高压三軸試験結果について述べた。今後も、データの集積に努め、より詳細な検討を行いたい。最後に、実験及びデータ整理に多大の協力を得た、摂南大学卒業生 松村久、木村善彦、笠井政義、君に深謝の意を表する。

参考文献；1) 三浦哲彦：高压下の砂の応力-ひずみ関係に関する一考察、土木学会論文報告集、第282号、PP. 127 ~ 130, 1979.