# III－7　砂の変形について

京都大学防災研究所　正員　村山朔郎
京都大学大学院　学生員○八木則男

筆者らは以前より砂の応力～ヒズミ関係についての研究に興味をもち，成果の一部はすでに報告した。今回は砂の体積変化について述べることにする。砂の体積変化は平均主応力 $\sigma_m=(\sigma_1+\sigma_2+\sigma_3)/3$ による体積変化とセン断応力 $\tau=\frac{1}{3}\sqrt{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2}$ による体積変化すなわちダイラタンシーとからなる。すなわち,これを式示すると Skempton (1960) が与えたように

$$\frac{\Delta V}{V}=C\cdot\left(\frac{\Delta\sigma_1'+\Delta\sigma_2'+\Delta\sigma_3'}{3}\right)+D\cdot\sqrt{(\Delta\sigma_1-\Delta\sigma_2)^2+(\Delta\sigma_2-\Delta\sigma_3)^2+(\Delta\sigma_3-\Delta\sigma_1)^2} \quad (1)$$

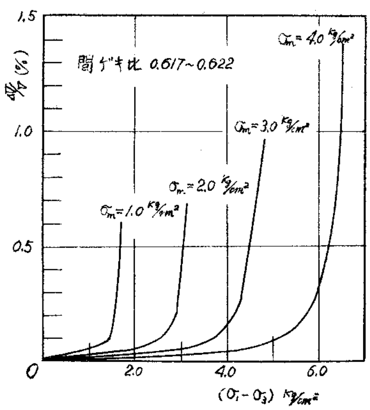
ここに $\Delta V/V$ は体積変化，$C$ は圧縮係数，$D$ はダイラタンシー係数である。

また三軸試験機により実験を行なう場合の応力条件には(i)等方圧縮，(ii)平均主応力 $\sigma_m$ が一定，(iii)側圧 $\sigma_3$ が一定，(iv)主応力差 $(\sigma_1-\sigma_3)$ が一定，などが考えられる。このうち(i)によれば,式(1)の右辺第1項のみによる体積変化が求められ，(ii)によればダイラタンシーによるものが測定できる。(i)の等方圧縮についてはすでに報告したので,ここでは(ii),(iii),(iv),の場合について述べる。

## 試料，試験方法

用いた試料は豊浦の標準砂で，均等係数1.75，比重2.58，である。供試体は高さ8.5,直径3.6,前後の円柱形である。

試験方法はすべて荷重制御式の三軸試験であり(ii)の場合ある大きさの $\sigma_m$ で圧密を行ない,その $\sigma_m$ を一定に保ちつつ主応力差 $(\sigma_1-\sigma_3)$ を増加させるとともに $\sigma_3$ を減少させた。(iii)の場合一定の $\sigma_3$ で圧密を行なったのち $(\sigma_1-\sigma_3)$ を増加させた。(iv)の場合はある $\sigma_3$ で圧密したのち一定の $(\sigma_1-\sigma_3)$ を与え $(\sigma_1-\sigma_3)$ を変えずに $\sigma_3$ を減少させた。以上のようにして得られた体積変化～応力，体積変化～ヒズミ関係はつぎのようである。

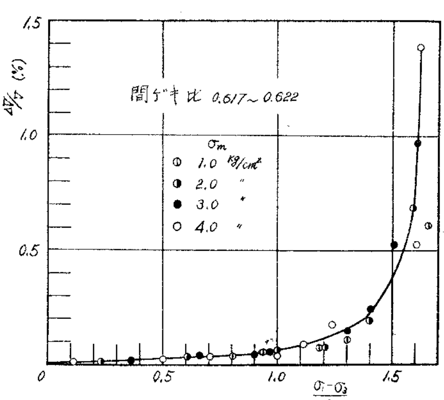



図－1

## 試験結果

(a) 平均主応力 $\sigma_m$ 一定の場合

得られた結果より,比較的間ゲキ比のそろったものを選び,$\sigma_m$ をパラメーターに体積変化 $\Delta V/V$ と主応力差 $(\sigma_1-\sigma_3)$ の関係を示すと図-1のようである。これたよるとこの程度の間ゲキ比では圧縮部分がなくすべて膨脹を示している。また,砂の変形(セン断ヒズミ)し




図－2

たがってダイラタンシーを起させようとする応力ははセン断応力τであり，それを阻止しようとする応力は拘束圧で等方的に作用する平均主応力$\sigma_m$と考えてよいから，τすなわち$(\sigma_1-\sigma_3)$を$\sigma_m$で割った$(\sigma_1-\sigma_3)/\sigma_m$と$\Delta V/V$の関係を示すと図-2のようになり，ほぼ同じ曲線上に集まることがわかる。したがってダイラタンシーの大きさは$(\sigma_1-\sigma_3)/\sigma_m$によって整理すると好都合である。またダイラタンシー係数Dの値はこの砂では，$(\sigma_1-\sigma_3)/\sigma_m$の比較的小さい部分すなわち$\Delta V/V\sim(\sigma_1-\sigma_3)/\sigma_m$関係が直線とみなされる範囲では$-4\sim-5\times10^{-4}$ cm²/kgの大きさである。さて，ダイラタンシーはセン断ヒズミによって生ずるものであるから体積変化をセン断ヒズミとの関係で示す方が妥当であろう。そこで体積変化$\Delta V/V$をセン断ヒズミγに対して両対数紙上プロットすると図-3のようになり，いずれの$\sigma_m$に対してもほぼ45度の直線となることから$\Delta V/V$とγは普通目盛上でも直線関係にあると考えてよい。

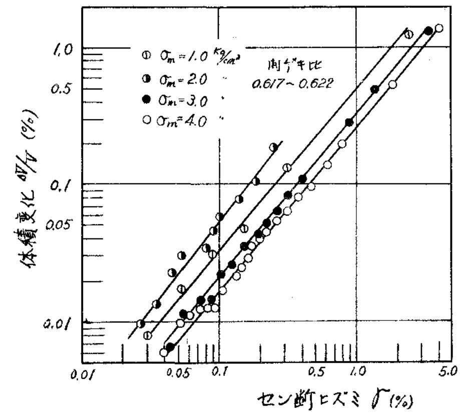



図-3

(b) 側圧$\sigma_3$一定の場合

$\sigma_3$が一定の場合の$\Delta V/V\sim(\sigma_1-\sigma_3)$関係を$\sigma_3$をパラメーターにして示すと図-4が得られる。この場合は$\sigma_m$および$(\sigma_1-\sigma_3)$が増加するので，$\sigma_m$の増加による圧縮と，$(\sigma_1-\sigma_3)$の増加による膨脹が同時に起っている。そして$(\sigma_1-\sigma_3)$のある値までは$\sigma_m$による圧縮の方が$(\sigma_1-\sigma_3)$による膨脹よりも大きいことがうかがえる。

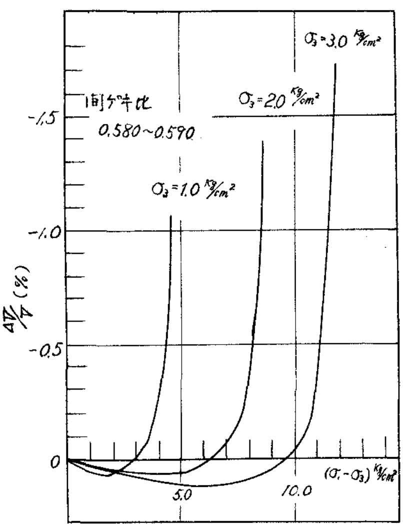



図-4

(c) 主応力差$(\sigma_1-\sigma_3)$一定の場合

$(\sigma_1-\sigma_3)=3.0$ kg/cm² を一定としたときの側圧$\sigma_3$と$\Delta V/V$，たてヒズミ$\varepsilon_1$，側方ヒズミ$\varepsilon_3$のそれぞれの関係を示すと図-5となる。体積変化に注目すると，$(\sigma_1-\sigma_3)$が一定であるから式(1)の右辺第2項はゼロとなるのにダイラタンシーが生じていることが注目される。したがって式(1)の右辺の第2項は$D\cdot\sqrt{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2}$としてDを$(\sigma_1-\sigma_3)/\sigma_m$の関数として表わす方がよいと思われる。

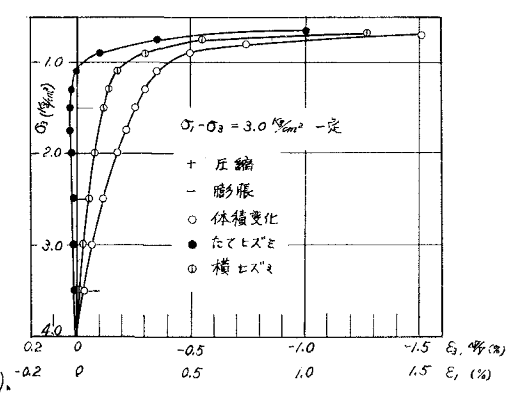



図-5

参考文献


(1) 村山朔郎・岩井国臣"砂の弾性について"土木学会年次講演会(昭和37年)

(2) 村山朔郎・八木則男"砂の変形について"土木学会関支部講演会(昭和37年)

(3) Skempton, A.W., "The pore-pressure coefficient in saturated soil" Geotechnique Vol.10 (1960) PP.186～187