

砂の1次元圧縮における2,3の実用的関係

金沢大学工学部 正員 八木則男

1. まえがき

砂の体積変化は等方的な有効応力の増減によるものと、せん断応力の変化によるもの（ダイレイタンス）とがある。ここでの圧縮は前者を意味しているの、本来は三軸試験機による等方圧縮試験によってその特性を調べるのが理想である。しかし三軸試験は面倒なうえに、等方圧力が変化する時は砂粒子間にゴムスリーブが貫入してみかけの体積変化が生じて、正確な特性を見出すことが困難である。ゆえにここでは1次元圧縮によって圧縮特性を求めた。1次元圧縮では応力によって静止土圧係数 K_0 が一定であり、したがってせん断応力と有効応力の比も一定となり、この場合はダイレイタンスによる体積変化が生じないと言われているので、圧縮特性を調べるのに都合がよい。また1次元圧縮の結果はそのまま実用に供されることが多い。

砂の圧縮特性は理論的、実験的に数多く研究されているが、ここでは繰り返し1次元圧縮も含めて、その応力と変形および繰り返し回数との間に実用的な関係が得られたので報告する。

2. 試料と実験装置

使用した砂試料は人工的に配合した図-1に示す粒度分布と表-1の物性をもつもので、すべての粒径は砂に分類されるものである。

供試体容器は内径6cm、高さ4cmの円筒形である。実験は初期の相対密度が各試料とも0.35, 65, 100%の近くの状態で行なわれた。

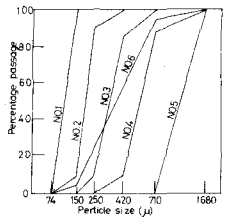


図-1

3. 実験結果と考察

1次元圧縮での応力 σ' と圧縮ひずみ ϵ の関係はSchultze²⁾らによって次式によって示されている。

$$\epsilon = \alpha \cdot \sigma'^{\beta} \quad \text{または} \quad \log \epsilon = \log \alpha + \beta \log \sigma' \quad \text{---(1)}$$

α, β は係数

(1)式の関係は図-2に示すようにここでの実験でも成立する。

α, β を砂の平均粒径 D_{50} に対して示すと図-3、図-4のようになる。これは粒径が大きくなると圧縮性が小さくなる

ので、圧縮性が小さいと α は小さく、 β は大きくなる。そこで両者の関係を $\log \alpha$ と β の関係で示すと図-5のようになり、砂の種類に関係なく直線的な関係が認められる。図中にはSchultzeらによる結果も示して

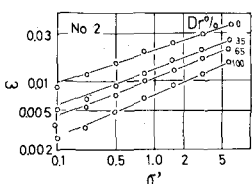


図-2

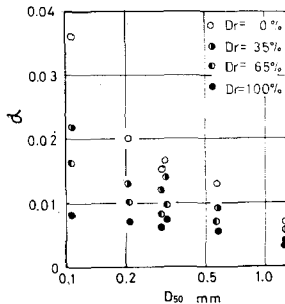


図-3

砂の諸物性

表-1

試料	G_s	$D_{50}(\mu)$	U_c	e_{max}	e_{min}
No. 1	2.96	105	1.3	1.095	0.714
No. 2	2.74	200	1.4	1.014	0.662
No. 3	2.66	330	1.4	0.964	0.660
No. 4	2.67	550	1.4	0.930	0.650
No. 5	2.60	1200	1.5	0.846	0.633
No. 6	2.70	320	2.0	0.924	0.637

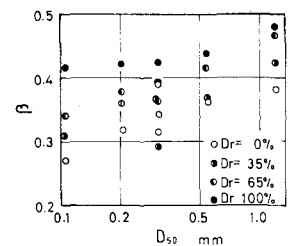


図-4

ある。Schultze らの結果は α と β のある範囲で示されていたので、 α が大きいと β は小さいと仮定してプロットしたものである。Schultze らの結果も著者の傾向とはほぼ同じである。また β の上限値としては最も圧縮性が小さい状態、すなわち粒子のみの圧縮による場合が考えられる。この場合は Wilson & Sutton¹⁾ が示したところによると $\epsilon = 1.845(\Delta\sigma'/E)$ となり、 $\beta = 2/3$ 、また $E = 2.7 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ (石英の弾性係数) とすると $\alpha = 0.0011$ となり図-5の結果と一致する。

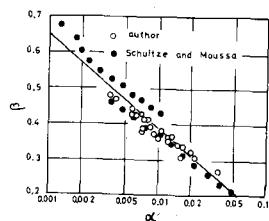


図-5

つぎに膨張量について記すと、膨張量 $\Delta\epsilon_s$ と $\log \sigma'$ の関係の一例は図-6 のようになり、 $\Delta\epsilon_s$ は次式で与えられる。

$$\Delta\epsilon_s = \alpha \log(\sigma'/\sigma'_0) \quad \text{--- (2)}$$

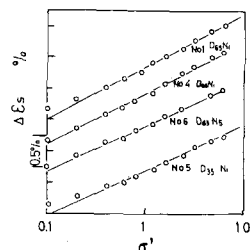


図-6

α は多くのデータについて調べると砂では粒径、粒度分布、相対密度、繰り返し回数とはほとんど無関係に 0.0075 ~ 0.0080 の範囲にある。

一方、繰り返し1次元圧縮における繰り返し回数 N と残留圧縮ひずみ ϵ_R との関係は次式で与えられることが図-7よりわかる。

$$\epsilon_R = N / (a_0 + b_0 N), \quad N / \epsilon_R = a_0 + b_0 N, \quad a_0, b_0 \text{ は定数} \quad \text{--- (3)}$$

そして a_0 , b_0 と相対密度 D_r との関係は図-8, 図-9に示すようである。 a_0 , b_0 とともに D_r の増加とともに増加する。また a_0 と b_0 の関係は図-10のようであり両者は砂の種類によらず、ほぼ直線関係で示される。

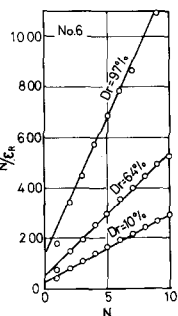


図-7

つぎに $N \rightarrow \infty$ の時の残留圧縮ひずみ $\epsilon_{RN \rightarrow \infty}$ は(3)式より推定でき、 $\epsilon_{RN \rightarrow \infty} = 1/b_0$ となる。これと繰り返し1回目の残留ひずみ $\epsilon_{RN=1}$ の関係は図-11, 図-12のようになり、 $\epsilon_{RN \rightarrow \infty} \div 1.5 \epsilon_{RN=1}$ の関係が砂の種類、荷重の大きさ等に無関係に得られる。また $\sigma'_R (\text{kg/cm}^2)$ まで作用させた時の $\epsilon_{RN=1}$ は(1), (2)式より次式で得られる。

$$\epsilon_{RN=1} \div \alpha \sigma'_R - 0.0077 \log(\sigma'_R / 0.1) \quad \text{--- (4)}$$

ここで、(2)式を用いて $\sigma' = 0$ までの除荷すると $\Delta\epsilon_s$ は無限大となるので、図-6より急激に $\Delta\epsilon_s$ が小さくなるので 0.1 kg/cm^2 を用いた。

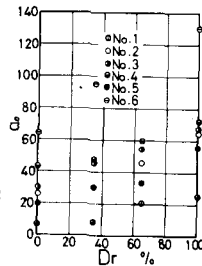


図-8

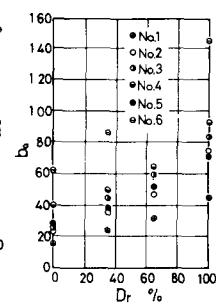


図-9

4. あとがき

以上の結果をまとめると繰り返し圧縮も含めた沈下量の推定が簡単な圧縮試験から可能である。

参考文献 1) G. Wilson: Contribution to the Study of Elastic Properties of Sand. 2nd Int. Conf. S.M.F.M. Vol. 1
2) E. Schultze: Factors Affecting the Compressibility of Sand. 5th Int. Conf. S.M.F.E. Vol. 1

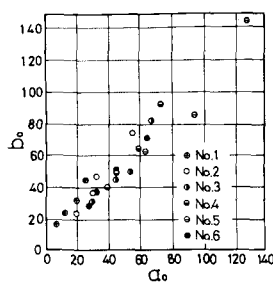


図-10

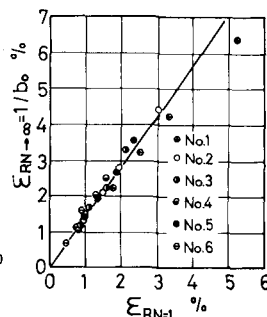


図-11

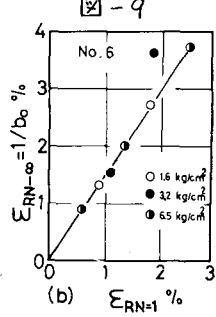


図-12