

長崎大学工学部 正員 落合英俊

同 植山 聡

同 学生員 ○井上和則

まえがき

砂地盤に荷重が作用した場合の沈下計算や粒状材料を用いた路床・路盤等における締固めの施工・管理においては、砂のような粒状土の応力・変位関係が必要であり、しかもそれにはその主要因子としての初期密度を考慮することが必要である。また側方拘束状態における砂のような粒状土の圧縮変形過程では、土粒自身および個々の土粒より成る骨格構造の弾性変形と土粒間の摩擦による平衡状態の崩壊、すなわち土粒間のすべりに伴ないより安定な位置へ土粒が移動することによる塑性変形とが、その変形機構として混在し、さらに材料によっては土粒自身の破砕も生じるであろう。従来、砂のような粒状材料の圧縮変形式については土質力学をはじめ、化学工学等の分野においても数多くの実験的・理論的研究が成されているが、初期密度の影響について考慮しているものは少なく、また粒度はどの材料の特性についても触れられていない。ところで土粒集合体における圧縮変形は集合体中の単位体積に占める間ゲキ量の減少の結果生じると考えられ、間ゲキ量の減少は外部から供給される応力によって引き起こされ、さらに砂のような粒状土では時間的な要素は無視できるくらい小さい。そこで本立では粒状土の圧縮変形と応力による間ゲキ濃度（間ゲキ率）の変化という立場から考え、初期密度の影響を考慮し、さらに材料の特性を含めた側方拘束状態における粒状土の応力とひずみの関係を各種の粒状土を用いて行った実験結果に基づき、考察検討した。

試験および試験方法

試験に用いた試料は2.0 mm～0.074 mmの粒径を有する気乾状態の各種の粒状土である。（図-1）供試体は直径6.0 cm、高さ5.0 cmの圧密試験用容器にできるだけゆるい状態から密な状態まで6段階の初期密度に詰めて作成した。試験は通常の圧密試験機を用い、まず0.05 kg/cm²の応力と加えて初期状態を設定し、荷重増加率 $\Delta\sigma/\sigma = 1$ の荷重段階で12.8 kg/cm²まで載荷試験を行なった。載荷時毎に各荷重段階とも10分であり、粒状土の場合には十分は時間である。

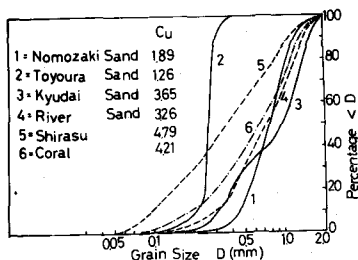


図-1 試験に用いた試料

試験結果および考察

粒数の関係で野田崎砂のデータのみを図示し、その考え方を述べる。なおひずみとはすべて10分後の値を用いている。一般に粒状土の初期密度が大きくなると、その圧縮変形量は小さくなる。Schultz⁽¹⁾にはある応力 p におけるひずみ ϵ_p と初期間ゲキ比 e_0 との間には面対数線上で直線関係にあると述べている。ここでは土粒集合体における圧縮変形はその集合体中の単位体積に占める間ゲキの量、すなわち間ゲキ濃度（間ゲキ率）に依存するとの考えから、粒状土の状態を表すのに間ゲキ率 $n = e/(1+e)$ を用いることにする。図-2は載荷応力 σ をパラメーターとして、圧縮ひずみ ϵ と初期間ゲキ率 n_i の関係を示すものであり、両者の間にはきわめて良好な比例関係がある。すなわち各載荷応力に対して次式が得られる。 $\epsilon = a_j + b_j \cdot n_i \cdots (1)$ ここに a_j, b_j は係数であり、添字 j は各載荷応力に対応する。ところで最密状態に達すれば、圧縮変形は土粒自身および骨格構造の弾性変形のみとなり、きわ

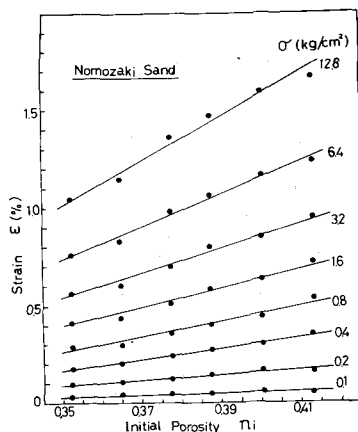


図-2 初期間ゲキ率とひずみの関係

めて小さいものになると考えられるので、図-2の直線群はほぼ一
 点で交わることが予想される。図-2の直線群の係数 a_j, b_j を最
 小二乗法によって求め、 (b, a) 座標に求めたものが図-3であり
 きわめて良好な直線関係にある。このことは(1)式で表わされる直線
 群が一線で交わり、また (b, a) 座標における直線の傾きの逆符号
 および縦軸 (a 軸) 切片の値が、各々(1)式の直線群の交点の横座標
 (n_0 軸) および縦座標 (ε_0 軸) の値に対応することと示している。
 この直線群の交点の座標を (n_0, ε_0) とすると、(1)式は次のように
 表わすことができる。 $\varepsilon = \varepsilon_0 + (n_i - n_0) \cdot b_j \cdots (2)$
 (2)式の係数 b_j は図-2の各直線の傾きを表わすもので、応力 σ の関
 数になると考えられ、一般に次のように表わすことができよう。

$$b_j = f(\sigma) \cdots (3) \quad \varepsilon = \varepsilon_0 + (n_i - n_0) \cdot f(\sigma) \cdots (4)$$

結局(3)式と(4)のような関数形で表示するかによって、種々の形の応
 力とひずみの関係が得られることになる。ところで砂の等方圧縮試
 験に対する Jakobson⁽²⁾ の実験結果等から推測して、(3)式は非線形
 になると考えられ、面対数紙にプロットした結果が図-4である。
 応力 σ が小さい範囲 ($\sigma < 0.4 \text{ kg/cm}^2$) を除くと、直線関係にあり、

$$b_j = \alpha \cdot \sigma^{\beta} \cdots (5) \quad \text{従って} \quad \varepsilon = \varepsilon_0 + (n_i - n_0) \cdot \alpha \cdot \sigma^{\beta} \cdots (6)$$

と表わすことができる。(6)式は応力 σ とひずみ ε の関係が面対数紙
 上で初期密度をパラメーターとした直線群になることを示しており
 Schulz⁽¹⁾ らの実験結果ともほぼ一致する。また、 $\varepsilon_0 \approx 0$ とみな
 せる場合には、これらの直線群は平行になる。なお応力が小さい場
 合、(6)式が成立せず、従って実験結果は(6)式の計算値から大きくは
 ずれてくるが、この原因の一つは側面摩擦の影響にあると考えられ
 る。次に(2)式あるいは(4)式における n_0, ε_0 についてであるが、表-
 1は最小二乗法によって求めた各試料の n_0, ε_0 の値を示している。
 n_0 は図-2から推察されるように最密状態に關係する材料定数であ
 ると考えられる。とくに野田崎砂、豊浦標準砂、九大砂といったご
 く普通の砂の n_0 の値が均一球の最密充填の固ゲキ率 0.2595 にきわめて近い値
 であることは非常に興味深い。また ε_0 は粒度、粒子破碎などに關係する定数と
 考えられる。図-5は ε_0 と均等係数 C_u の關係を片対数紙に求めたものであるが
 興味ある対応關係がみられる。すなわち、均等係数 C_u が1に近づくほど ε_0 の値
 は対数的に減少し、均一粒度の場合には $\varepsilon_0 \approx 0$ とみなすことができよう。なお
 粒子破碎についてはその表示法に不明の点も多く、今後検討したい。

まとめ 側方拘束状態における粗状土の応力とひずみの關係は一般に(4)式
 で表示できると考えられるが、結局(3)式の表示法が問題である。ここでは(5)式
 で表わし、ある程度実験データと説明できることを示したが、この点について、さらに実験的・理論的考察を行
 ないたい。また材料の最密状態、粒度、破碎性などに關係があるとしている n_0, ε_0 についても詳細な検討を加え
 る必要がある。引用文献 (1) Schulz, E & A. Moussa: Proc. 5th. Int. Conf. SMFE, Vol 1,

1961, (2) Jakobson, B: Proc. 4th. Int. Conf. SMFE, Vol 1, 1957

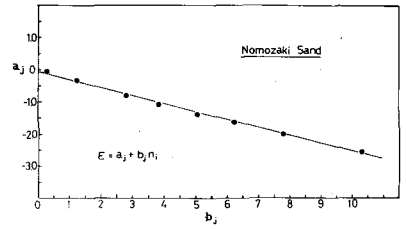


図-3 係数 a_j と b_j の関係

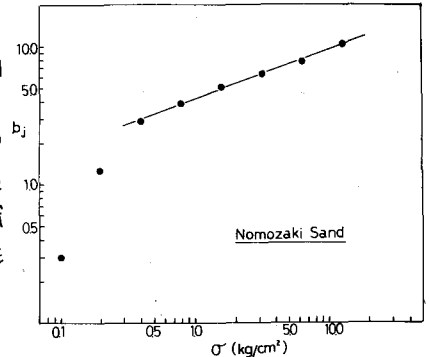


図-4 係数 b_j と応力 σ の関係

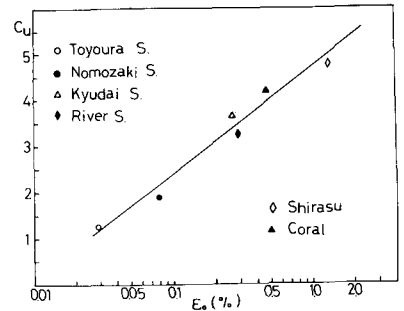


図-5 ε_0 と均等係数 C_u の関係

表-1 各試料の n_0, ε_0

試料名	n_0	ε_0 (%)
野田崎砂	0.2464	0.078
豊浦標準砂	0.2662	0.029
九大砂	0.2459	0.267
川砂	0.3429	0.292
シラス	0.4809	1.321
コーラル	0.4545	0.476