

長崎大学工学部 正員 落合英彦
同 学生員 尾崎孝二

はじめに

砂のような粒状土の圧縮変形（こゝでは、破壊を起すことなく体積を減少させる変形と圧縮変形と呼ぶ）は、主として、土粒子間の摩擦による平衡状態の崩壊、つまり土粒子間のすべりにともないより安全な位置へ土粒子が移動することによる塑性変形に起因するものであり、その圧縮変形に及ぼす載荷時間の影響は意識できるほど小さい。側方拘束の一次元圧縮の場合、圧縮すべき土と載荷力の間の関係として、著者のひとり（1）は初期密度を考慮した次の実験的に求めた（1）。
$$\varepsilon = a(n_i - n_0) \sigma^b \quad \text{--- (1)}$$

こゝに、 n_0 は最小空隙率と均等係数によつて定まる定数、 n_i は初期空隙率、 a, b は材料定数である。一オ、ある力での繰返し載荷した場合、載荷時間は無限であるが、繰返ししたともないその圧縮変形量は増大し、かつ砂の場合には、10000回程度の繰返しによつて静的載荷の場合の5倍以上の圧縮すべきを生じる。したがつて、砂地盤や粒状材料を用いた路盤などの次下計算には、繰返し荷重による砂の圧縮変形の挙動を把握しておく必要がある。本文では、側方拘束の一次元圧縮に限らず、繰返し荷重による砂の圧縮変形について実験的に検討するとともに、砂および飽和粘土についての既往の研究成果との比較を行ひ、繰返ししたともなう圧縮すべきの予測法について考察した。

試験方法

試験は通常の圧密試験科目任意の周期で繰返し載荷がでるよう改造した装置により行ひ、手圧圧密容器は載荷板の偏心を防ぐためにガイド棒を有し、その寸法は直径6.0cm、高さ5.0cmである。繰返し周期は60秒（載荷・除荷各30秒）である。なお、初期状態は0.05 kg/cm²の力を加えた状態として設定し、除荷時にありこゝの力が材料に加つてゐる。

試験結果および考察

図-1は圧縮すべき ε と繰返し載荷回数 N との関係を示す一例であり、 N の増加とともに ε が増加することから知られる。このような ε と N の関係として、ハネラ⁽²⁾は $N=10$ 程度の試験結果から次の提案してゐる。

$$\varepsilon = N / (a' + b'N) \quad \text{--- (2)}$$

この(2)式は N/ε と N が直線関係にあることを示してあり、またその直線の傾きの逆数(1/b')が $N=0$ における ε とすべきことになる。図-2は N/ε と N の関係で試験結果を整理したものである。 $N=10$ 程度までのハネラの試験結果と同様にきつめて良好な直線関係があるが、それ以上になると直線関係から大きくはずれる。

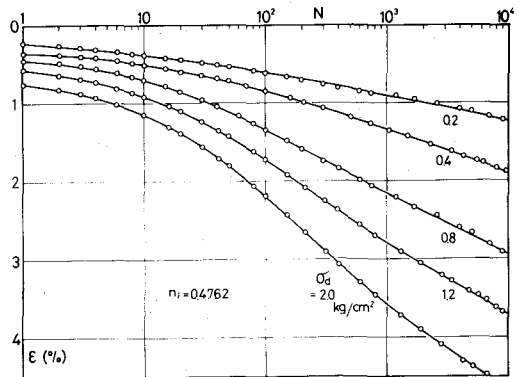


図-1 $\varepsilon - N$ 関係

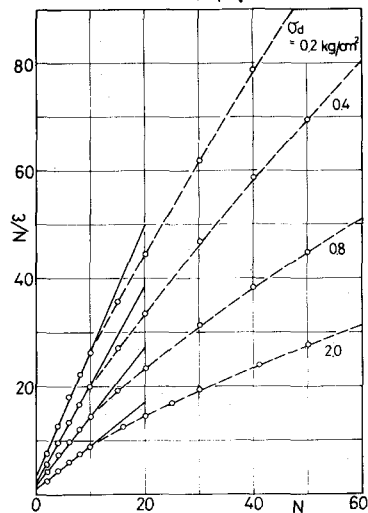


図-2 $N/\varepsilon - N$ 関係

(2)式の表示はできない。したがって、(2)式の双曲線表示を行なえば、 $N=10$ 程度の実験結果から繰返しによる最終圧縮とズミの推定ができることとなる。八木らの手法は実験結果と着しく反してゐる。ところで、(1)式は圧縮とズミとを静的載荷応力の比に比例して増加することを示してゐるが、繰返し載荷の場合には載荷回数 N によつて圧縮とズミが増加するので、このかわりに N を用いると E と N が対数紙上で直線関係にあることになる。図-3は E と N の関係を対数紙上で表示した結果であり、1つの変曲点をもつ2本の良好な直線関係にあることがわかる。したがって、各直線部分に対して(1)式と類似の式が成立すると考えられる。

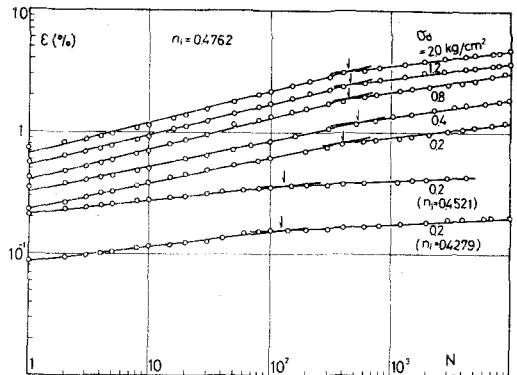


図-3 $E-N$ 関係

$$E = A(N_i - N_0)N^B \quad \text{--- (3)}$$

(3)式を变形して、 $E/N = A(N_i - N_0)N^{B-1}$ とすれば、 E/N と N の関係も対数紙上で2本の直線関係にあることになるが、山内ら⁽³⁾は飽和粘土について全く図-1の実験結果を得ている。このことは繰返し荷重を受ける砂と飽和粘土の圧縮変形挙動の類似性を示してゐるものと考えられる。山内らは変曲点を2つの変形も一次圧縮領域と二次圧縮領域とし、それぞれ領域に対して Roscoe-Burkland 則と Mitchell 式を利用したズミの予測法を提案してゐるが、砂の場合には一次圧縮、二次圧縮と二つ考へた方が力学的意味が明確でなく、むしろ各直線部分に対して(3)式の定数 A, B を別個に求め、(3)式からズミの予測を行は、方が簡便である。また、(3)式では繰返し応力の影響が加味されてゐないが、これを考慮すると、Mitchell 式との類似性から次の式が予想される。

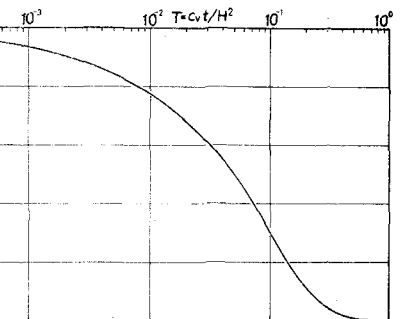


図-4 沈下比-時間係数 曲線

なお、図-1の実験結果は、飽和粘土の一次元圧縮における沈下-時間係数とよく類似してゐる。たとへば、ズミに相当する三つの圧縮係数 $\partial E / \partial t = C_v (\partial^2 E / \partial z^2)$ と、 $t=0: E=0$ 、 $z=0: E=E_0$ 、 $z=H: E=0$ の条件で解き、沈下比 dh_t / dh_∞ と時間係数 $T = C_v t / H^2$ の関係を図示すると図-4のようになり、図-1の実験結果と類似してゐる。このことは、角ゲキ水の移動に基づく飽和粘土の圧縮変形を、繰返し荷重による砂塊中の角ゲキ濃度の拡散による変形と考へ、さらに時間 t を繰返し回数 N におきかえれば、飽和粘土の圧縮挙動は繰返し荷重による砂の圧縮変形に適用できることも可能であることを示してゐるものと考えられる。

$$E = A'(N_i - N_0) \exp(\alpha z) \cdot N^B \quad \text{--- (4)}$$

さて、図-1の実験結果は、飽和粘土の一次元圧縮における沈下-時間係数とよく類似してゐる。たとへば、ズミに相当する三つの圧縮係数 $\partial E / \partial t = C_v (\partial^2 E / \partial z^2)$ と、 $t=0: E=0$ 、 $z=0: E=E_0$ 、 $z=H: E=0$ の条件で解き、沈下比 dh_t / dh_∞ と時間係数 $T = C_v t / H^2$ の関係を図示すると図-4のようになり、図-1の実験結果と類似してゐる。このことは、角ゲキ水の移動に基づく飽和粘土の圧縮変形を、繰返し荷重による砂塊中の角ゲキ濃度の拡散による変形と考へ、さらに時間 t を繰返し回数 N におきかえれば、飽和粘土の圧縮挙動は繰返し荷重による砂の圧縮変形に適用できることも可能であることを示してゐるものと考えられる。

あとをき

砂は繰返し荷重を作用させると、繰返しにともなひ非常に大きな圧縮変形を生じ、砂地盤や粒状材料を用いた路盤などの沈下計算には、繰返し回数 N と圧縮とズミとの関係を知ることは必要となる。本文では実験結果と既往の研究成果とを比較を行は、 N と E の関係に双曲線表示を用ひらねばならないこと、砂と飽和粘土とはその変形挙動がきつめてよく類似してゐることを示し、 $N-E$ 関係を予測するまで、3つ考へ方を述べた。今後、さらに詳細な実験結果との比較を行は、これらの考へ方を整理し、その表示を求めたい。

参考文献

- (1) 落合 (1975): 土壌工学論文報告集, 第15巻, 第2号
- (2) 八木, 西田, 文内 (1976): 第11回土壌工学研究発表会。
- (3) 山内, 安原, 菊園 (1976): 第11回土壌工学研究発表会, 山内, 安原, 菊園 (1976): 第31回土木学会年次講演会, 1976。