

III-368

繰返しせん断時の砂の体積変化特性について

—繰返し回数・初期せん断応力の影響—

(財)電力中央研究所 正会員 ○金谷 守

同上 正会員 西 好一

1. はじめに

地震時や波力作用時における砂地盤・構造物の沈下を予測するためには、砂が繰返しせん断を受けた時の体積変化特性を把握しておくことが重要である。八木は、比較的簡単な方法で繰返しせん断に伴う砂の体積ひずみの変化を予測する式を提案している¹⁾。また著者らは、地震応答解析と八木の提案式を結合させ、ハイブリッドな形で地震時沈下を予測する解析法を開発している²⁾。ところで、波力を対象とする場合に地震時と異なる点のひとつに、荷重の繰返し回数が多いことが挙げられる。また、安定性を左右する外力が構造物を介して地盤中に伝達されることから、構造物周辺の地盤の初期応力状態が重要な要素になると考えられる。

以上の観点から本文では、砂を繰返し排水せん断した時の体積変化に及ぼす繰返し回数・初期せん断応力の影響について実験を行った結果得られた知見を述べるものである。

2. 実験方法

実験に使用した装置は中空ねじりせん断装置である。供試体寸法は外径10cm、内径6cm、高さ12cmである。粒径約0.15mmの高萩砂を含水比10%に調整し、モールド内で5層にわたって突固め法により相対密度約40%の供試体を作成する。供試体は脱気水によって飽和化された後、初期有効拘束圧 $\sigma_{mo}' = 0.5, 1.0, 2.0 \text{ kgf/cm}^2$ で等方圧密する。初期せん断応力を作用させる場合には、排水状態で所定の初期せん断応力をねじり力を載荷することによって与える。排水繰返しせん断は、繰返し回数500回を基本とした。

3. 実験結果と考察

図1は初期せん断応力 $\tau_1/\sigma_{mo}' = 0$ の時の体積ひずみと繰返し回数の関係を示したものである。両者はほぼ双曲線関係にあり、動的せん断応力振幅が大きいはど体積ひずみが大きくなる。この関係を次式で表わす。

$$V_d = \frac{N}{a + bN} = \frac{1}{b} \cdot \frac{N}{A + N} \quad (A = a/b) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$1/b$ は $N \rightarrow \infty$ の時の体積ひずみ $V_{d\infty}$ を表わすパラメータで、 b は $N/V_d - N$ 関係における直線の勾配を表わすものである。そこで図2に $N/V_d - N$ 関係の一例を示す。図によると両者の関係は必ずしも直線ではなく N が大きくなると勾配がゆるやかになるようである。このことは繰返し回数の小さい所でパラメータ b を決定すると繰返し回数の大きい所での体積ひずみを過少評価することになる。ちなみに今、 $N_a = 20, 500$ 回のケースについてパラメータ a, b を決定し、式(1)に従って体積ひずみと繰返し回数の関係をプロットしたものを図1に並記した。 $N_a = 20$ 回として

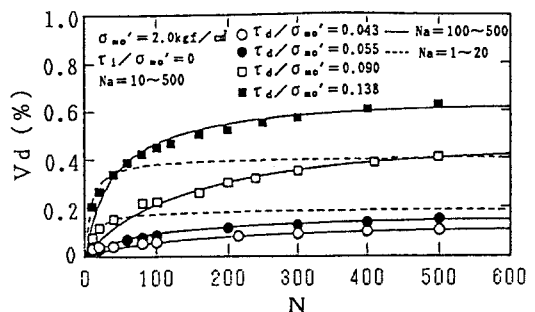


図-1 体積ひずみと繰返し回数の関係

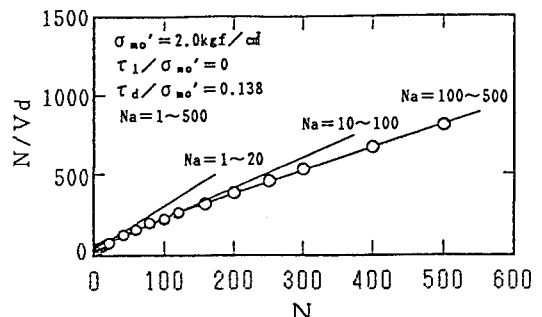


図-2 繰返し回数 N /体積ひずみ V_d と N の関係

計算したものはNが大きい所で体積ひずみを過少評価していることが示されている。同様の傾向は初期せん断応力が作用している場合にもあてはまることが今回の実験から確認されている。

さて、八木は先に述べたパラメータ $1/b$ について多くの実験結果から次式で表現されることを提案しており、

$$1/b = V_{d\infty} = m \cdot (\tau_d / \sigma_{mo}')^n \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中nは材料によらずば $n=3$ であると述べている。図3は、 $N_a=20$ 回までのデータから上式の関係を調べるためにプロットしたもので、初期せん断応力を作用させた実験結果も示している。データ数が十分ではないが、初期せん断応力の有無に拘らず式(2)が成立し、nもほぼ3であることがわかる。この傾向は他の拘束下および N_a が大きい場合にもあてはまることを確認した。一方、パラメータmは換言すれば体積ひずみの絶対値を決定するものであり、この値に影響を及ぼす要因としては当然のことながら材料自体の特性(例えば粒径、粒度分布、粒子形状など)、相対密度、拘束圧、初期せん断応力、ならびに先に挙げた繰返し回数など数多く考えられる。ここでは、材料と相対密度は固定された条件であるとして以下パラメータmの議論を行うことにする。図4は初期せん断応力が作用していない時のmと σ_{mo}' の関係をプロットしたものである。 N_a の大きさによってその勾配は異なるものの両者の関係はほぼ直線で表現されることがわかる。この勾配を m_1^* とすると、

$$m = m_1^* \cdot \sigma_{mo}' = m_1^* (N_a) \cdot \sigma_{mo}' \quad \dots\dots\dots (3)$$

となる。次に初期せん断応力の影響を考えると、初期せん断応力比 τ_i / σ_{mo}' が同じであるならばmと σ_{mo}' の関係が、初期せん断応力が作用していない時と同様に直線関係になり、その勾配が初期せん断応力比に応じて変化するものとする。この様な観点に立って、 $m_2^* = m \tau_i \neq 0 / m \tau_i = 0$ と τ_i / σ_{mo}' の関係をプロットしてみたのが図5である。 $\tau_i = 0$ の時は $m_2^* = 1$ となるが、本図によると τ_i / σ_{mo}' が0.3以下である場合には初期せん断応力がない時よりも体積ひずみが小さくなり、それより大きくなると逆に体積ひずみが大きくなるという結果になっている。今後より多くの実験データの集積が必要ではあるが、今回の実験から繰返し回数及び初期せん断応力に応じて比較的簡便に砂の体積ひずみを予測することが可能になるのではないかと考えている。

[参考文献]

- 1) 八木：繰返し荷重を受けた砂の力学特性とその応用に関する研究、京都大学学位論文、1974年。
- 2) 西・金谷：地震時における基礎地盤の安定性評価(その1)、電中研報告U86002、1986年。

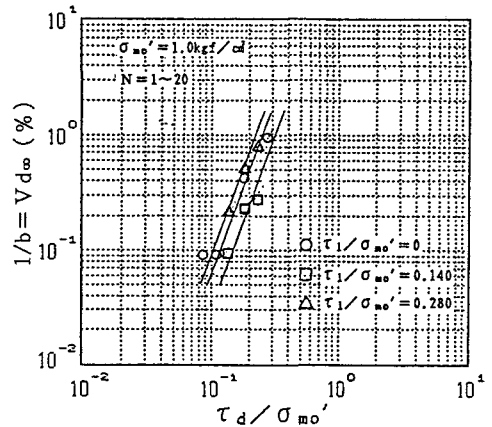


図-3 $N \rightarrow \infty$ の時の体積ひずみと応力比の関係

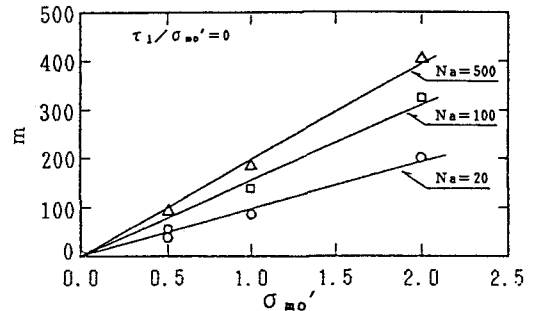


図-4 パラメータmと初期有効拘束圧の関係

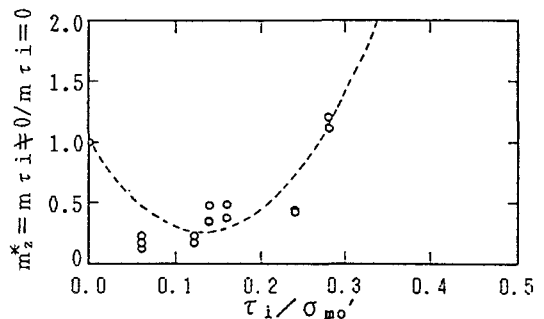


図-5 パラメータ m_2^* と τ_i / σ_{mo}' の関係