

砂の繰返し一面せん断特性に及ぼす初期せん断応力の影響

長岡技術科学大学

学生会員 ○河野 智也

日建設計中瀬土質研究所

正会員

片桐 雅明

西村 正人

1. はじめに

盛土などの初期せん断応力の作用した砂地盤では、多かれ少なかれ初期せん断応力が作用している。このような地盤の繰返しせん断特性を調べるために、あるせん断状態から繰返し一面せん断試験を行った。今回は、初期せん断応力の違いに着目し、繰返しせん断特性を検討したので報告する。

2. 実験試料及び実験方法

本実験に用いた試料は、珪砂 7 号 ($\rho_s = 2.630 \text{ g/cm}^3$, $\rho_{dmax} = 1.196 \text{ g/cm}^3$, $\rho_{dmin} = 1.570 \text{ g/cm}^3$) である。

供試体 ($\phi = 60 \text{ mm}$, $H = 20.2 \text{ mm}$) は、相対密度 D_r が 80% となるように空中落下法で作製した。

実験方法は次の手順で行った。垂直圧力 $\sigma = 98 \text{ kPa}$ を 10 分間加えた後、 0.2 mm/min のせん断速度で初期せん断を与え、その後定体積条件で繰返し载荷を行った。繰返し载荷時の繰返し幅 δR は、 0.1 mm と 0.2 mm とし、繰返し回数は 20 回とした。繰返し载荷時の定体積条件を満足するために、垂直変位 ΔH は、 ± 0.01 内の変動におさえた。

砂のせん断特性は、せん断応力が増加しピークとなる間体積は収縮し膨張に転ずる、その後せん断応力は減少して体積とともに残留状態となる。そこで初期せん断応力 τ_0 は、図 1 に示す①～⑤の状態とした。これらの状態は、次の特徴を持つ。①初期せん断応力がピークの約 30%、②初期せん断応力を与え ΔH が最小、③初期せん断応力を与え $\Delta H = 0$ 、④初期せん断応力がピークの状態、⑤初期せん断応力が残留状態である。

また、繰返し一面せん断特性を比較するために、別途 $\sigma = 15, 33, 65 \text{ kPa}$ の定圧一面せん断試験も行った。

3. 試験結果

3.1 定圧一面せん断試験結果

図 2 に、図 1 に示す定圧一面せん断試験から得られた応力経路を示す。図中の実線は、図 1 に示す①～⑤の (σ , τ) をそれぞれ結んだものである。

ピーク時④が一番大きく、残留時⑤と、 $\Delta H = 0$ となる時のせん断状態③はほぼ同じ位置となった。

3.2 繰返し一面せん断試験結果

図 3 (a) (b) (c) に σ_N , τ_N , ΔH_{cyc} と N の関係を示す。ここで、 τ_N は繰返し载荷時のせん断変位が最大の時の τ であり、 σ_N はその時の σ である。 ΔH_{cyc} は、繰返し载荷中の垂直変位の変化であり、 N は繰返し回数である。せん断変位が最大の時の τ に着目したのは、 τ を除荷して再び载荷した時の τ_N の変化を見るためである。

図 3 (a) (b) より、 τ_N と σ_N の低下割合は、 δR が 0.2 mm の方が 0.1 mm より大きいことが分かる。 τ_N と σ_N の低下挙動については、 δR が 0.1 mm の場合、 N が 3 回程度まで急激に低下し、その後なだらかに低下して 0 もしくは一定と

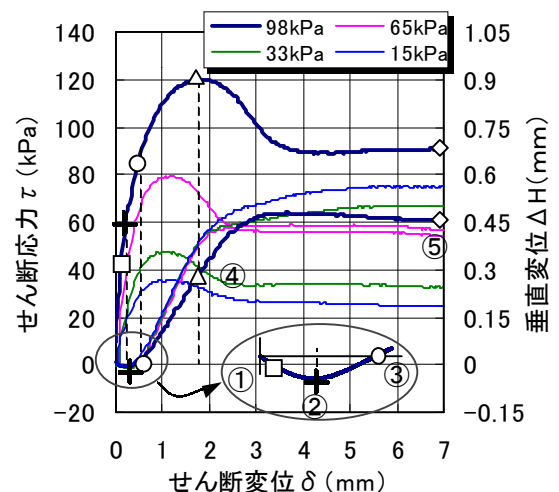


図 1 $\delta - \tau$, ΔH 関係と繰返し载荷開始位置

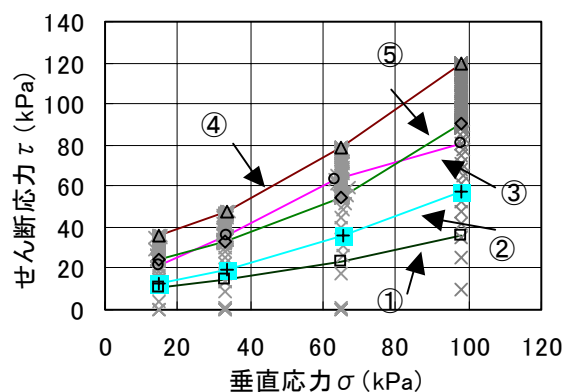


図 2 応力経路

キーワード 砂、一面せん断試験、繰返し载荷、初期せん断応力

連絡先 日建設計中瀬土質研究所 TEL 044-599-1151 FAX 044-599-9444

なった。一方、 δR が 0.2 mm の場合には、 N が 3 回までに急激に低下し、その後 0 もしくは一定となった。同様のことが、 N の回数は異なるが②と③についても認められた。これは、繰返し载荷に伴い、供試体の体積は収縮しようとするため、 σ_N は定体積条件を満足しようとして低下し、 σ が低下することにより τ は低下したものと考えられる。

図 3 (c) は、繰返し時の体積変化を表す。 δR が 0.1 mm の場合には N が 7 回までは、0.2 mm の場合には N が 3 回までは、 ΔH_{cyc} が規定以内にあり、定体積条件を満足していたことを表している。

3.3 繰返し载荷と単調载荷の $\sigma - \tau$ 関係

図 4 は、 $\tau_0 = \tau_{max}$ (④)、 $\tau_0 = \tau_{residual}$ (⑤) の時の繰返し载荷中の (σ_N , τ_N) のプロットである。また図 5 は、 $\tau_0 =$ ピークの 30%, $\Delta H = \Delta H_{minimum}$ (②), $\Delta H = 0$ (③) のプロットである。それぞれのプロットは、繰返し载荷中の定体積条件を満足しているもののみを用いた。なお図中の実線は、図 2 に示す定圧一面せん断試験から得られた $\sigma - \tau$ 関係である。

$\sigma_N - \tau_N$ 関係は、繰返し载荷に伴って図 4 に示す矢印の方向、すなわち左下へ移動する。③、④、⑤の場合には、 σ_N の低下と共に τ_N が単調に低下している。特に④のプロットは単調载荷時のピークを結んだ応力状態の低下に近い。①、②の場合には、 σ_N が低下しても τ_N がほとんど低下せず、ある応力状態に達した後単調に低下している。このように (σ_N , τ_N) の移動挙動は、繰返し载荷開始時の初期せん断応力に依存することが分かった。

σ_N が作用している状態で発揮されるせん断応力は、0 から最大せん断応力までである。定体積条件の繰返し载荷では σ_N が低下していくために、その σ_N で発揮されるせん断応力 τ_N は低下していく。初期せん断応力の大きい④ (初期せん断応力が σ_N で発揮される最大のせん断応力) の場合は、繰返し载荷時のせん断応力が、 σ_N で発揮できる最大を示し、供試体は破壊していると考えられる。一方、初期せん断応力が小さい、すなわちその時の σ_N で発揮される最大せん断応力よりも初期せん断応力が小さい①、②では、繰返し载荷によって σ_N が低下し初期せん断応力が降伏条件に達したときに σ_N , τ_N が単調に低下したと考えられる。今回の①、②の降伏条件は単調载荷時の残留状態の応力⑤に近いと考えられる。

4. まとめ

(1) 定体積条件下の、繰返し载荷時における (σ_N , τ_N) の移動挙動は初期せん断応力 τ_0 に依存する。

(2) 初期せん断応力が単調载荷時の残留状態より小さい場合は、定体積条件の繰返し载荷によって初期せん断応力の降伏条件となる垂直応力まで τ_N は一定で σ_N が低下し、その後の繰返し载荷により (σ_N , τ_N) とも低下した。この降伏条件は単調载荷の残留状態の応力に近いものと考えられる。

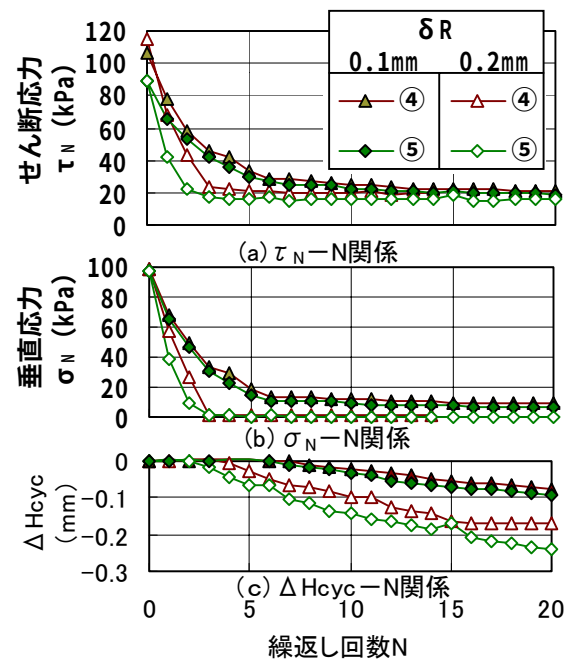


図 3 繰返し時の τ_N , σ_N , ΔH_{cyclic} の変化

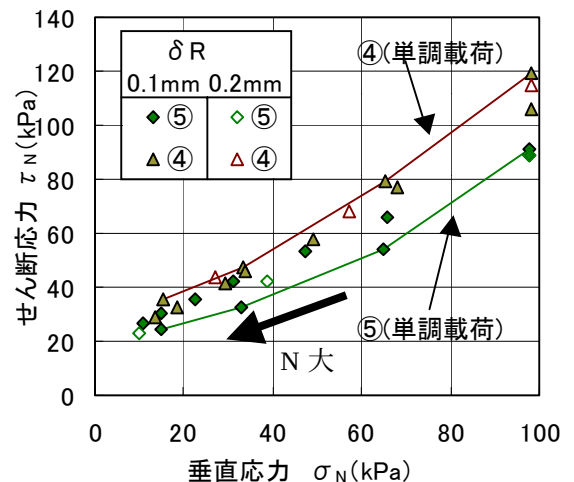


図 4 $\sigma_N - \tau_N$ 関係 (④、⑤)

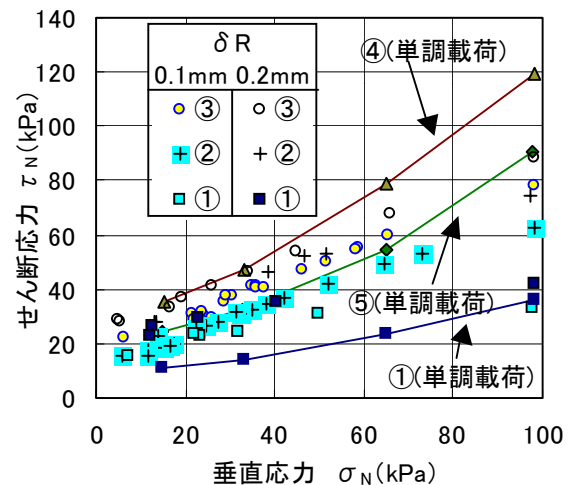


図 5 $\sigma_N - \tau_N$ 関係 (①、②、③)