

繰返しせん断時の砂の応力

STRESS INDUCED IN SAND DURING CYCLIC SHEAR

大原資生*・山本哲朗**

By Sukeo OHARA and Tetsuro YAMAMOTO

In our previous paper¹⁾ the cyclic shear tests on sand are performed using Kjellman's type simple shear box, fixed on a shaking table. The tests are performed under a vertical stress (σ_v) of 49.4 kPa. From the test results, the equation calculating the principal stresses induced in sand is obtained. Furthermore it is found that the internal friction angle of sand decreases 2.5° with increasing a seismic coefficient k_h by 0.1. In this paper to confirm this result the same tests as previous ones are carried out under $\sigma_v=29.8$ kPa. As a result it was found that the result of this investigation is the same as that for the previous one. Therefore this test results are presented in a generalized form.

Keywords : cyclic shear, internal friction angle, principal stress, sand, seismic coefficient, simple shear test apparatus

1. 緒言

著者らは前論文¹⁾で振動台上に固定したケルマン型の単純せん断箱を用いて繰返しせん断時の砂の土圧係数を測定した。

通常、この種の単純せん断箱では供試体に生じる水平応力を測定することが難しいが、われわれの用いたせん断箱では供試体は直径 30 cm, 高さ約 5 cm で比較的大きいので、その周囲に積み重ねられたドーナツ状のリングに小型圧力変換器を受圧面を内側にしてはめ込み、これによって繰返しせん断時の供試体の水平応力を正確に測定することができた。

実験結果から繰返しせん断時の乾燥砂の主応力を算出する式が得られ、さらに、砂の内部摩擦角は震度が 0.1 増加するごとに見掛け上 2.5 度減少することがわかった。これは鉛直応力 49.4 kPa の実験から得られた結果であり、この結果が異なった鉛直応力の場合でも一般的にいえるかは検討の余地が残されていた。

そこで、今回、鉛直応力を 29.8 kPa として同じ実験を行ったところ、先の研究 (鉛直応力 49.4 kPa) と同じ結果を得た。本文では、特に主応力を算定する式をさらに

一般化した形で示し、振動による砂の内部摩擦角の減少についての結果も述べることにする。

2. 実験装置および方法

実験に用いた装置および実験方法は前回の場合と同様であるので、ここでは簡単に述べることにし、その詳細については先の論文¹⁾を参照されたい。

実験装置としては振動台上に固定したケルマン型の単純せん断箱が用いられた。供試体の大きさは直径 30 cm, 高さ約 5 cm で、振動時に供試体が横方向に膨れ出すことを防止し、また、せん断変形を拘束しないようにするために、その周囲には内径 30.1 cm, 外径 35.0 cm, 厚さ 1.0 cm の塩化ビニール板製のリングが 5 枚積み重ねられている。

上から 3 枚目のリングを用いて互いに直交する 4 か所のところに、その受圧面がリングの内面と同一の面となるように小型圧力変換器 (受圧面径: 6 mm, 容量: 196 kPa) がはめ込まれ、これによって繰返しせん断中の水平応力が測定される。

供試体に作用する鉛直応力は重錘、載荷板によって与えられるが、今回の実験では供試体の表面でのその大きさは 29.4 kPa として実験を行った。また、繰返しせん断応力は重錘、載荷板、供試体およびリングに生じる慣性力によって与えられる。

実験はまず、ゴムスリーブ内に間隙比 (e) = 0.712 (相

* 正会員 工博 宇部工業高等専門学校校長
(〒755 山口県宇部市常盤台)

** 正会員 工博 山口大学工業短期大学部助教授 土木工学科 (同上)

対密度 $D_r=84.7\%$) の乾燥した密詰め状態の豊浦砂供試体を作製した後、4か所の静的水平応力を測定する。その後、振動台を駆動して振動数3 Hzで一定の水平震度(k_h)=0.1, 0.2, 0.3, 0.4の加速度を段階的に与える。各震度の加振時間は30秒間とした。振動時には振動方向とそれと直交する方向でそれぞれ2か所計4つの水平応力、供試体上端の左右2か所のせん断変位振幅および振動台の加速度がそれぞれ所定の変換器で測定され、すべてペン書きオシログラフに記録した。

3. 結果および考察

図-1は今回の実験(供試体の中央部の鉛直応力 $\sigma_z=29.8\text{ kPa}$) で得られた繰返しせん断(繰返し回数 $n=90$ 回)によって生じた水平応力の増加量($\Delta\sigma'_x$)を σ'_z で除して、それと水平震度(k_h)の関係を示したものである。 $\Delta\sigma'_x$ に付けた添字 $\theta=0^\circ$ および $\theta=90^\circ$ はそれぞれせん断方向およびそれと直交する方向での水平応力を表す。両方向の水平応力ともそれぞれの方向の2つの応力を平均した値が示されている。

図-1からわかるように、 $k_h=0.3$ までは今回の実験から得られた2つの方向の $\Delta\sigma'_x(\theta=0^\circ)/\sigma'_z$, $\Delta\sigma'_x(\theta=90^\circ)/\sigma'_z$ と k_h の関係は、それぞれ前回の実験($\sigma'_z=49.4\text{ kPa}$)から得られた $\Delta\sigma'_x(\theta=0^\circ)/\sigma'_z=1.09k_h$, $\Delta\sigma'_x(\theta=$

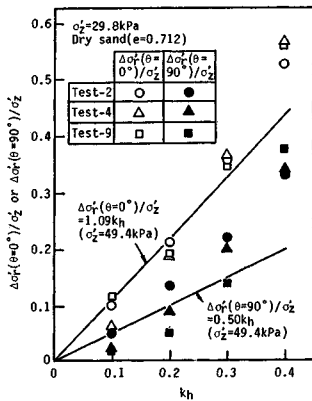


図-1 繰返しせん断時の土圧係数の増加と震度の関係

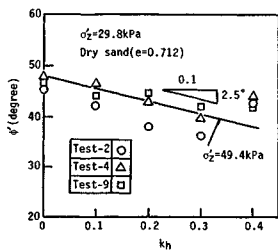


図-2 振動による砂の内部摩擦角の見掛け上の減少

$90^\circ)/\sigma'_z=0.50k_h$ という直線上にほぼあることから、震度の増加に対する $\Delta\sigma'_x/\sigma'_z$ の増加量は σ'_z の大きさに依存しないことが示された。

この結果を用いて繰返しせん断時の砂の主応力を求める実験式は次の式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma'_1 &= \{(1-K_0-1.09k_h) \cdot \sigma'_z + \tau^2\} / \\ & \quad (1-K_0-1.09k_h) \cdot \sigma'_z \\ \sigma'_2 &= (K_0+0.50k_h) \cdot \sigma'_z \\ \sigma'_3 &= (K_0+1.09k_h) \cdot \sigma'_z \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

K_0 は供試体を作製したときの初期の静止土圧係数である。上述したように、式中の $1.09k_h$, $0.50k_h$ はそれぞれ振動方向およびそれと直交する方向の繰返しせん断によって生じた土圧係数の増加量を表わしているが、この無次元量を主応力の算定式に取り入れた今回の式(1)は先の式をさらに一般化した形になっている。

次に、前回と同様にせん断変形を生じない方向の土圧係数 $\{C'_0(\theta=90^\circ)=\sigma'_2/\sigma'_1\}$ と次の Jaky の式を用いて振動中の砂の内部摩擦角 ϕ' が見掛け上どのように変化するかを調べた。その結果が図-2である。

$$K_0 = 1 - \sin \phi' \dots\dots\dots (2)$$

図-2からわかるように、供試体作製時の初期の ϕ' に若干の差があるために、各震度で得られた ϕ' にもわずかな差異が生じているが、 $k_h=0\sim0.3$ の範囲では今回の実験値も前回の実験から得られた ϕ' と k_h の関係を表わす直線の近傍にある。 $k_h=0.4$ での ϕ' は前回の実験と同様に極端に大きくなって図中の直線からはずれているが、 $k_h=0.4$ では砂粒子の運動が激しくなり、骨格構造が崩れた変形が生じ、 σ'_1 が極端に増大するためであろう。このように、今回の実験によっても振動時には砂の内部摩擦角は震度0.1の増加に対して見掛け上2.5度減少するという先の結果と同じ結果が得られた。

4. まとめ

ケルマン型の単純せん断箱を用いて有効鉛直圧 $\sigma'_z=29.8\text{ kPa}$ のもとで砂の繰返しせん断試験を行って、繰返しせん断時の主応力は先の論文の式をさらに一般化した形の式(1)で与えられ、また、前回と同様に振動によって砂の内部摩擦角は震度が0.1増加することに見掛け上2.5度減少するという結論が得られた。

最後に実験および結果の整理を手伝って頂いた山口大学工学部学生 桜井修司君に謝意を表します。

参考文献

1) 大原資生・山本哲朗：繰返しせん断を受けているときの砂の土圧係数について、土木学会論文集，第412号/III-12, pp.89~97, 1989.

(1989.11.6・受付)