

長崎大学工学部 正員 落合英俊

同 片利啓三

同 学生員 〇岩佐 明

まえがき

ある一定のせん断面に於て変位あるいは応力を繰返し作用させると、せん断領域における間ガキの圧縮（土粒子同志の接触面積と接点数の増加）と土粒子の再配列（せん断方向に対する土粒子の平均的な配列方向の増加）に起因して、一般に砂の強度は増加する。しかしこのような繰返しせん断に伴う砂の強度増加は加えられる変位あるいは応力の大きさに関係し、ある大きさ以上の繰返し変位あるいは応力の作用を受けると、むしろ強度低下しはじめ、砂の強度増加に及ばず最適の繰返し変位あるいは応力が存在する（図-1）⁽¹⁾。またせん断面上の垂直応力を繰返し載荷した場合、垂直応力により過圧密状態（ $\sigma_v/\sigma_h \leq 5$ ）にした場合のように、せん断面上の垂直応力のみを変化させる応力履歴を与えても、砂の強度はほとんど増加しない（図-2）⁽²⁾。これらのことはせん断面上の応力履歴に伴う密度の変化とともに、構造の変化すなわち土粒子の再配列が砂の強度変化に対して重要な役割をなしていることを示すものである。本文ではこのようなせん断面上の応力履歴に伴う砂の強度変化に及ぼす土粒子再配列の影響が繰返し変位の大きさによりどのように変化するかを明らかにするため、せん断中に密度の変化を生じさせない両振りの繰返し等体積せん断試験を改良型一面せん断試験機を用いて行ない、この場合には繰返しせん断に伴ない土粒子再配列のみが生じると考え、検討した。

試料および試験方法

試料は含水比約5%の豊浦標準砂であり、改良型一面せん断試験機を用い、一定の水平変位 $\pm S_R$ で N 回両振り繰返しせん断後、残留状態までせん断する両振り繰返し等体積せん断試験を行なった。繰返し水平変位 $\pm S_R$ は、ここでを行なった初期間ガキ比 $e_0 = 0.735$ の場合には水平変位約1.0 mmは近でピーク強度に達すること、等圧繰返しせん断試験の結果（図-1）では繰返しせん断変位あるいは応力の大きさが履歴を与えない場合のピーク強度の約90%付近を境にして、その強度増加に及ばず効果が変化することから判断して、ここでは繰返し水平変位 $\pm S_R$ は0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 mmとした。なお供試体寸法は直径6.0 cm, 高さ約2.0 cmであり、初期間ガキ比 $e_0 = 0.735$ である。また繰返し回数 N は応力の方毎に数え、せん断応力で、水平変位 S_R は最初に作用させた方向を正としている。

試験結果および考察

ある一定の水平変位で両振り繰返し等圧せん断を行なうと、繰返し回数とともに体積は減少し、それに伴ない繰返し水平変位時のせん断応力で s_R 従って応力比 $(\tau/\sigma)_{s_R}$ は増加する⁽¹⁾。一方、等体積せん断の場合には、等圧せん断における体積の減少に対応して繰返し水平変位 $\pm S_R$ 時のせん断面上の垂直応力 σ_R は繰返し回数とともに減少し、その結果せん断応力で s_R も減少する（図-3）。しかし応力比 $(\tau/\sigma)_{s_R}$ は図-4に示すように繰返し回数ともにほぼ直線的に増加する。等体積せん断では密度の変化は生じないので、この強度増加は繰返しに伴う構造の変化すなわち土粒子の再配列に起因すると考えられる。ところで豊浦標準砂を相対密度0.1~0.9になるように円筒容器の中に詰めした場合、密度の

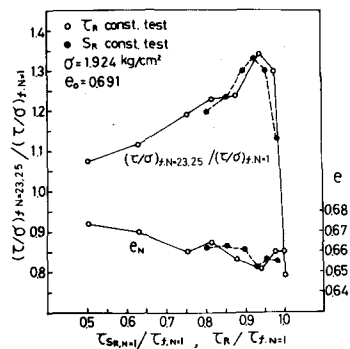


図-1 繰返しせん断応力と強度変化

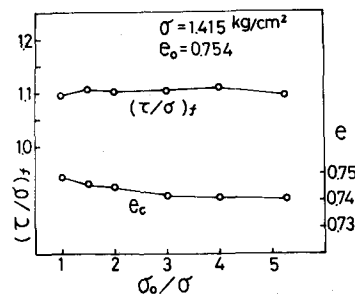


図-2 過圧密比と強度変化

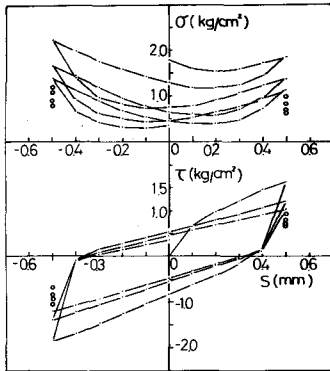


図-3 繰返しに伴う応力変化

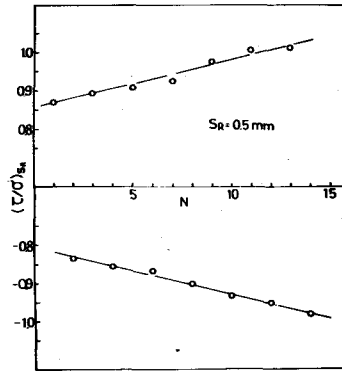


図-4 繰返し回数と応力比変化

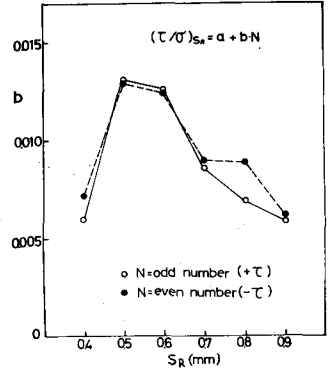


図-5 繰返し変位時の応力比変化

いかんにかかわらず、粒子長軸の平均的な配列方向は水平面に対して、約 30° 内外になるといわれている¹⁰⁾。等体積セン断に伴う粒子再配列はこのように粒子長軸の平均的な配列方向がセン断方向に対して変化するものであると考えられ、等圧セン断に対する図-1の結果から判断して加えられる繰返し変位の大きさに関係するであろう。繰返し変位時の応力比 $(\tau/\sigma)_{S_R}$ と繰返し回数 N の間には、図-4に示すようにほぼ直線的な関係にあり、セン断応力の正負両方向に対して次のように表わることができる。 $(\tau/\sigma)_{S_R} = a + bN$ (1)

ここで正のセン断応力に対して $N = 1, 3, 5, \dots$ 、負のセン断応力に対して $N = 2, 4, 6, \dots$ であり、係数 a は $N = 1$ および $N = 2$ の場合の応力比を表わす。係数 b は繰返しセン断に対する粒子再配列の影響を表わすものと考えられる。図-5は(1)式の係数 a 、 b を各セン断応力の方向毎に最小二乗法によって求め、係数 b を繰返し変位 S_R に対して求めた結果である。セン断応力の方向に関係なく、繰返し変位が $0.5 \sim 0.6$ mmを境にして、粒子再配列の影響が変化し、それ以上の大きさの繰返し変位になるとその影響は次第に減少する。このことはある大きさ以上の繰返し変位になると、セン断方向に対する粒子長軸の平均的な配列方向が小さくなるためであり、密な砂を等圧セン断で一度残留状態までセン断すると、その後何回繰返しを行っても残留密度以上には大きくなる¹¹⁾ということも一致する。なお、 $S_R = 0.5 \sim 0.6$ mm という値はこの試料の有効径 $D_{50} (= 0.13$ mm)の約4~5倍に相当するが、初期密度によって変化し、密になるほど粒子再配列に要する変位は大きくなるであろう。図-6は繰返し履歴を与えた後、残留密度までセン断した時のピーク強度と履歴を与えない場合の強度との比を示している(等圧セン断に対する図-1の結果も示す)。等体積セン断においても等圧セン断の場合と同様に、その強度増加に及ぼす最適の繰返し変位が存在し、さらにそれら両試験の結果が類似していることは興味深い。初期密度、繰返し回数が異なるため、両試験結果を直接比較することは問題があるが、ある繰返し変位を境にして強度増加に及ぼす効果が減少するのは、粒子再配列に起因すると思われる。また等体積セン断に比べて等圧セン断の場合が強度増加は大きくなるが、これは密度増加と粒子再配列の効果が同時に生じるためである。

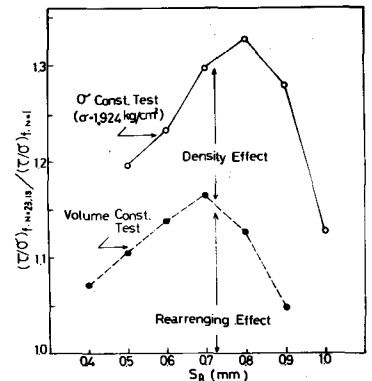


図-6 繰返し変位と強度変化

まとめ 両振り繰返し等体積セン断試験の結果、繰返しに伴う粒子再配列は加えられる変位により変化することが明らかになったが、応力や密度によって異なると考えられるので、この点について今後検討したい。

文献 (1)落合・山内: 九大工学集報, オ45巻, オ3号, 昭和47年, (2)落合: 長崎大学工学部研究報告 オ4号, 昭和48年, (3)小田・風間: 土と基礎, Vol.18, No.9, 1970,