

砂のせん断抵抗は粒子間の摩擦抵抗とせん断変形にともなう体積変化(ダイレイタンス)によるものが主である。これらのせん断抵抗がひずみとともにどのように発揮されるか、どのような要素に影響されるかを調べるため、三軸試験によって、繰り返しせん断種々の砂に対しせん断試験を行なって考察した。

1) 粒子間摩擦による抵抗

砂粒子の土塊に等応力 σ_m のみが作用した場合、一般に各々の粒子間接合面に作用する力は一様ではなく、大小さまざまである。したがって、これにせん断応力 τ が作用すると、 τ に抵抗する粒子間接合面は全接合面数 N のうち一部 n 個で他は抵抗を發揮しないと考えられる。この n 個のうちの一部は力の平衡が破れずべりを起こし、砂にひずみを生じせしめる。そしてさらに大きな τ に対して新しい接合面が抵抗するものと思われる。このように新たに抵抗を發揮する接合面の数を n とひずみ ϵ の関数として表わされるとする。 $n=f(\epsilon)$ この関数の形は不明であるので今後確めたい。いま仮りに図-1 のように $n=f(\epsilon)$ が与えられたとする。 n 個全部が 100% 抵抗を發揮してないが各々の發揮率は不明であるので、せん断抵抗は n に比例するとする。また、せん断抵抗は σ_m の大きさにも比例すると思われる。したがって、任意のひずみ ϵ におけるせん断抵抗 R は $R = \int_0^\epsilon k \sigma_m f(\epsilon) d\epsilon$ で与えられ、 R と ϵ の関係を模式的に描くと図-2 のようになる。これは非排水試験におけるひずみとともに發揮する内部摩擦角の模相と近似していいように思える。特別な例として図-3(a)に示す等大球が規則配列をした場合は各接合面に作用する力は同じで他の条件も同じであるから $\epsilon=0$ で $n=N$ となり、したがって、そのとき $R \sim \epsilon$ 関係は図-3(b) のようになる。

一方、実際の砂について行なった三軸試験について考えてみる。図-4、図-5 は $\sigma_m = 2.5 \text{ kg/cm}^2$ を一定にして主応力差を増加させたときの応力 ~ ひずみ、体積変化 ~ ひずみ関係である。図中 $\sigma_{30} = 0.1 \text{ kg/cm}^2$ は $\sigma_3 = 0.1 \text{ kg/cm}^2$ を一定にして、主応力差を増加させて、ひずみ履歴を与え ($\sigma_1 - \sigma_3$) をゼロにして、 $\sigma_m = 2.5 \text{ kg/cm}^2$ (等方) にした後 σ_m を一定にしてせん断したことを意味する。そして与えたひ

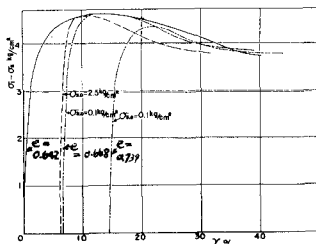
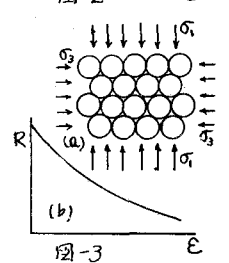
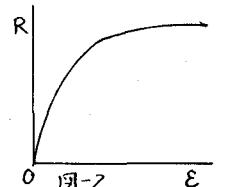
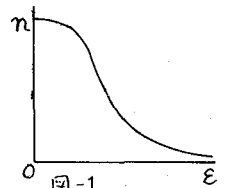


図-4

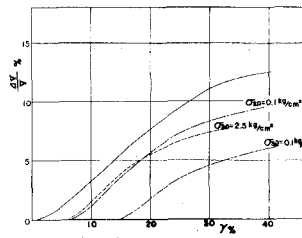


図-5

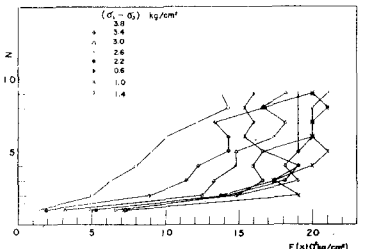


図-6

のみ履歴だけ原素よりずらして描いてある。実線はのみ履歴を与えたものだからである。これらによると、のみ履歴を与えると初期間け比が大きくなるにもかかわらず $(\sigma_1 - \sigma_3)$ が最大に至るまでは同じのみに対するせん断抵抗は増加している。すなわち弾性係数が増加する。これはのみ履歴を与えることにより図-1の ϵ に対する σ の分布が $\epsilon=0$ の所に集中することを示している。したがって砂質土の応力-変形関係は同一砂であっても間け比だけの影響を受けるのではなく、粒子配列とか粒子間接に作用する力の分布に大きく影響を受ける。しかし、図-4に示されるように、のみ履歴を $(\sigma_1 - \sigma_3)$ の最大値に相当するのみより大きく与えたものと小さく与えたものと比較すると後者の方が弾性係数を上昇させる効果は大きい。つまり主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ の繰り返しによる効果を調べるため、 $\sigma_3 = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ を一定にして $(\sigma_1 - \sigma_3)$ を $0 \sim 4.0 \text{ kg/cm}^2$ の範囲で繰り返し作用させた。得られた応力-のみ履歴関係から求めた接線弾性係数 E を繰り返し回数 N に対して $(\sigma_1 - \sigma_3)$ をパラメーターに示すと図-6のようになる。すなわち繰り返しとともに E は上昇し、図-1の分布が左に集中していくことを示しており、小さいのみで多くの繰り返し抵抗を発揮する。以上の試験は排水状態のものであるから、グレイタニミーによる抵抗の効果も含んでいるが、 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ の値が最大値に近くない範囲ではあまり大きな影響はない。

3) グレイタニミーによる抵抗

グレイタニミーによる抵抗については従来より種々の理論計算方法が提案されている、これの大小は体積変化の割合とのみ履歴の割合の比 $d(\%) / d\epsilon$ の大小で与えられる。 $d(\%) / d\epsilon$ は砂の粒形、粒径、粒度分布、間け比などに影響を受けるので、これについて調べるため、図-7に示すような粒径の砂に対して $\sigma_m = 25 \text{ kg/cm}^2$ を一定にしたせん断試験を行った。その結果が図-7、図-8に示されている。混合砂は図中の3種の粒径範囲のものを粒径加積曲線が直線となるように混合したものである。以上の試験より $d(\%) / d\epsilon = D$ に対してつぎのことがわかった。① $\sigma = 0$ の近く(すなわち小さい)では間け比に小さいのに D の値は小さい。これはのみ履歴を与えるとやや大きくなる(図-4)。② $(\sigma_1 - \sigma_3)$ の最大値に相当するのみを越えないのみ履歴を与えて初期間け比を大きくしても破壊時にかけ D の値はほとんど変らない。しかしそれを越えるのみ履歴では D の値は小さくなる(図-4)。③ D の値は粒径が小さくなる程大きい(図-8)。ただし $(\sigma_1 - \sigma_3)$ の最大値以後はすべり面の発生により正確な D の値は得られない。④粒度配合をよくして、間け比を減少させてもその割には D の値は増加しない(図-8)。

3) せん断強度

上記の試験を通じて砂のせん断強度についてつぎのような結果が得られた。①同一の砂でも初期間け比だけで強度は決定できない。すなわち初期間け比が異なっている場合でも同一強度になる場合がある。これは粒子配列や接点の力の分布に関係するであろう。②図-7のような場合では、ほぼ同じ強度をもつ粒径の異なる砂を混合して、間け比を小さくしても強度の上昇はあまり期待できなかった。

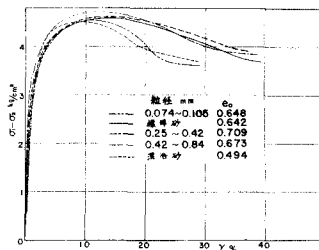


図-7

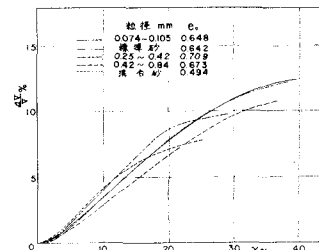


図-8