

砂のせん断抵抗は砂の粒子間の摩擦によるものとせん断時のダイレタンスーのための体積変化による抵抗に分類される。砂質土では特に体積変化によるせん断抵抗が重要な役割をはたしている。ここでは三軸試験機により体積変化の生じないせん断試験を行ない、体積変化による抵抗のない砂のせん断抵抗を求めるとともに、各種の応力条件の下でせん断試験を行ない、その強度の比較、破壊時における体積変化の強度への影響などについて調べた結果を報告する。

試料、実験方法

実験に用いた試料は豊浦の標準砂である。供試体は完全飽和で、高さ約8.5cm前後、直径3.57cmの円筒形であり、間隙比は 0.61 ± 0.1 の範囲のものでほぼ一定とみなしてよい。行なった実験の応力条件は表-1にまとめてある。表中の σ_a は供試体の軸方向応力、 σ_r は側方応力(液圧)、 σ_m は平均主応力、Compは圧縮、Extはひきのはしである。すべて排水状態である。なおせん断速度は 0.1 mm/min である。

実験結果

体積を一定にした圧縮試験と他の試験を比較するために試験番号①、②の $\sigma_r = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ および③の結果と軸方向ヒズミ ϵ_a と主応力差/最小主応力の関係で示したのが図-1である。

⑤は体積変化によるせん断抵抗はなく、粒子間摩擦による抵抗であり、体積変化がある場合に比べ非常に小さなヒズミで合せせん断抵抗が發揮され、それよりヒズミが増加してもほとんど変化がない。したがって一般の体積変化がある場合のせん断抵抗は ϵ_a が約1%以後は体積変化の増減により変化することが実験的にわかった。またCompとExtではせん断抵抗にかなりの差があるが、これは両者いずれの場合もせん断部分は局部的であり、断面補正は行なっているものの実際のせん断部の断面面積はCompの場合より大きく、Extの場合より小さくなっていることによるが、主応力差にかなりの開きがあるので、他にもなにか要素があ

表-1

試験番号	試験条件
①	$\sigma_a > \sigma_r$ σ_m : 増加 Comp. $\sigma_r = -\text{定} = 1.0, 2.0, 3.0 \text{ kg/cm}^2$
②	$\sigma_a < \sigma_r$ σ_m : 減少 Ext. $\sigma_r = -\text{定} = 1.0, 2.0, 3.0 \text{ kg/cm}^2$
③	$\sigma_a > \sigma_r$ σ_m : 減少 Comp. $\sigma_a = -\text{定} = 2.0 \text{ kg/cm}^2$
④	$\sigma_a < \sigma_r$ σ_m : 増加 Ext. $\sigma_a = -\text{定} = 1.0 \text{ kg/cm}^2$
⑤	$\sigma_a > \sigma_r$ 体積一定 Comp

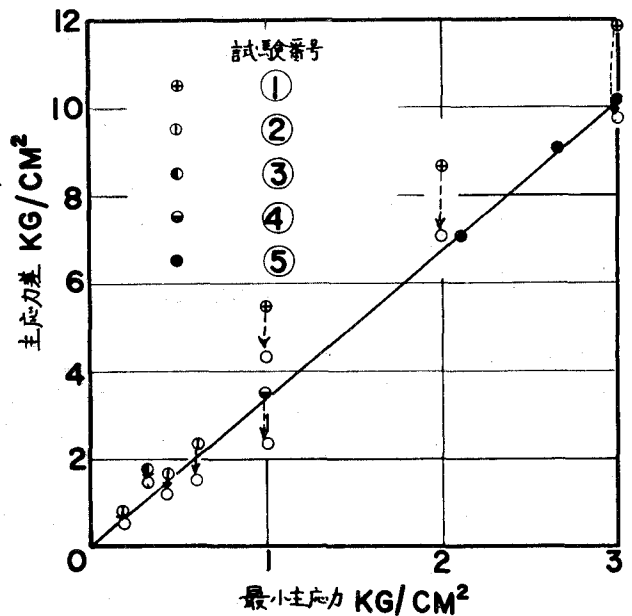


図-1

ると考えられる。そこで各種試験についての強度を比較するために主応力差の最大値を最小主応力に對して図示すると図-2 のようになる。この図より Comp の方が Ext よりも大きな強度を示すことが判明する。Ext はほとんどと体積一定の場合とほとんど強度はかわらない。この事実をさらに追求するために体積変化が強度におよぼす影響について調べる。これには Bishop のより提案された次式を用いることにする。

$$(\sigma_a - \sigma_r) = (\sigma_a - \sigma_r)_f - \sigma_r d\left(\frac{\Delta V}{V}\right) / d\epsilon_a$$

ただし ϵ_a は圧縮が、 $\Delta V/V$ は膨張が正とする。 $(\sigma_a - \sigma_r)_f$ は粒子間摩擦によるもの、しかし(1)式の右辺の第2項はここで行なったような σ_r が変化する場合には次のようになる。

$$(1) \text{式} \text{の第2項} = \frac{d}{d\epsilon_a} \left(\frac{\Delta V}{V} \cdot \sigma_r \right) = \sigma_r \frac{d\left(\frac{\Delta V}{V}\right)}{d\epsilon_a} + \left(\frac{\Delta V}{V} \right) \cdot \frac{d\sigma_r}{d\epsilon_a}$$

となるが、主応力差が最大となる瞬間においては $d\sigma_r/d\epsilon_a = 0$ と考えてよいから、破壊時には(1)式を用いてもよい。また Ext の場合は(1)式の第2項は Comp の場合とは付号が逆になるが、左辺も右辺の第1項も逆となるのでここでは絶対値について考えることにする。体積変化が強度におよぼす影響を調べるには $d(\Delta V/V)/d\epsilon_a$ の値を調べればよい。そこで各種試験機が破壊時における $d(\Delta V/V)/d\epsilon_a$ の値を内部摩擦角 ϕ とともに表-2 に示した。これによると Comp の方が Ext よりも $d(\Delta V/V)/d\epsilon_a$ は大きいと同じ Comp または Ext で比較すると、 σ_m が減少している試験の方が大きいのは応力履歴の影響であろう。また図-2 の Comp 試験の値が原点を通らないのは $d(\Delta V/V)/d\epsilon_a$ が σ_r が小さい程大きくなっているのも1つの原因である。また表-2 の値を用いて体積変化の影響を除いた $(\sigma_a - \sigma_r)_f$ の値を各試験の値について図-2 矢印で対応させた。この値は Comp 試験では同じ最小主応力での体積一定の場合の主応力差より大きいが、Ext では小さくなっているのが注目される。先に述べたようにセン断部分が供試体の全体にわたっていないので実際は $d(\Delta V/V)/d\epsilon_a$ がもう少し大きくなり、Comp では体積一定の線に近づくようであるが、Ext の場合はその逆なので

Ext や σ_r が変化する場合の(1)式の妥当性は検討する必要がある。

以上結論としては体積変化のない場合の砂の内部摩擦角は $38^{\circ}42'$ (豊浦標準砂)であり、Comp は Ext よりも強度が大きく、 $d(\Delta V/V)/d\epsilon_a$ も大きくて正のダイレイタンスの傾向が強いようである。レガシレーターが少ないためここでは明確な結論が得られないので、今後さらに研究を進める予定である。

参考文献 正員 赤井浩一 砂のセン断におけるダイレイタンス効果 土木学会論文集第58号

表-2

試験条件	①			②			③	④	⑤
	σ_r 1.0	2.0	3.0	1.0	2.0	3.0			
$d(\Delta V/V)/d\epsilon_a$	1.08	0.85	0.76	0.30	0.25	0.32	1.10	0.25	—
ϕ	$44^{\circ}48'$	$42^{\circ}32'$	$41^{\circ}36'$	$37^{\circ}0'$	$39^{\circ}48'$	$39^{\circ}50'$	$46^{\circ}06'$	$39^{\circ}34'$	$38^{\circ}42'$

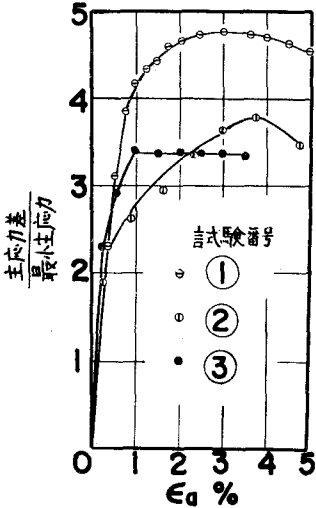


図-2