

粒状体のせん断強度の源に関する一考察
— 粒子表面粗度と粒子接点角の影響 —

岐阜工業高等専門学校 正 会 員 ○吉村優治
名古屋工業大学 正 会 員 松岡 元
" 学生会員 上田雅章

筆者の一人、松岡ら¹⁾はすでに、均等径の丸棒の粒子間摩擦角 ϕ の測定法を提案している。この方法は、均等径の丸棒を通常の一面せん断試験機の上部載荷板と下部底板に並べて接着し、せん断変位を与えて下部粒子の上に上部粒子を乗り上がらせ、このときに測定されたせん断・垂直応力比(τ/σ_N)と粒子接点角 θ ($\tan \theta = dy/dx$, ここに x はせん断変位, y は鉛直変位)の関係から、粒子間摩擦角 ϕ の値を算定するものであり、均等径丸棒の ϕ を比較的簡単に、かつ正確に求めることができる。本研究では、①均等径のアルミ丸棒の表面の粗度を変化させて粒子間摩擦角に及ぼす表面粗度の影響を明らかにし、②アルミ丸棒の配置を変化させて内部摩擦角 ϕ に及ぼす粒子接点角 θ の影響を明らかにする。

1. 粒子の表面粗度が粒子間摩擦角に及ぼす影響

図-1に示すように、等径(直径 $D=5\text{mm}$)のアルミ丸棒を最密状態で接着し、通常の一面せん断試験を行うと、せん断前の粒子接点角 θ (図-2、最密状態では $\theta=30^\circ$)は粒子の乗り上がりとともに小さくなる。この試験ではせん断時に相対変位が生じるのは、上層粒子と下層粒子の間のみであるので、理論的には内部摩擦角 ϕ は粒子間摩擦角 ϕ と粒子接点角 θ

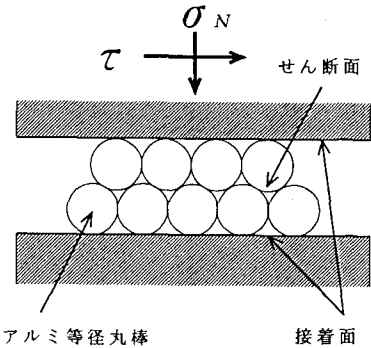


図-1 ϕ 測定のための等径丸棒の一面せん断

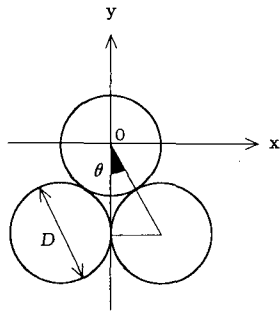


図-2 最密状態の粒子接点角 θ ($=30^\circ$)

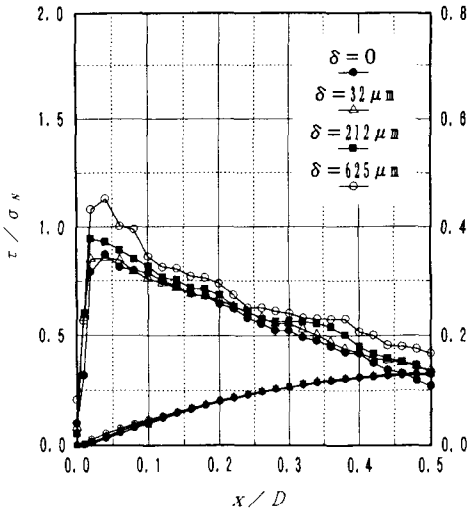


図-3 表面粗度の異なるアルミ丸棒の一面せん断試験結果

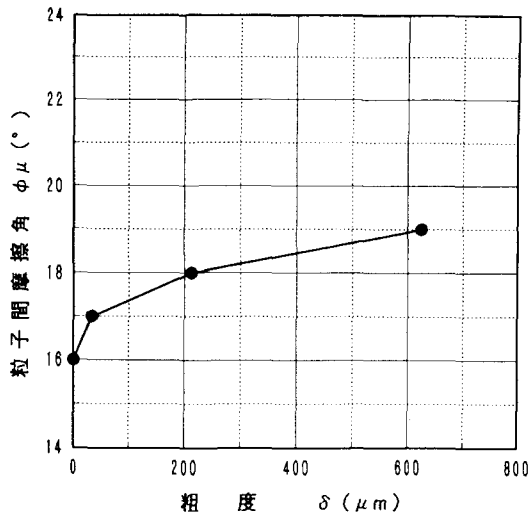


図-4 粒子間摩擦角 ϕ と粗度 δ の関係

の和($\phi = \phi \mu + \theta$)によって決まる。松岡ら¹⁾は、この理論値と実験値を比較することにより丸棒の $\phi \mu$ を決定している。ここでは、粗さの違う紙やすりおよび鉄やすりによりアルミ丸棒の表面粗度 δ を変化させ、粒子の表面粗度 δ が粒子間摩擦角 $\phi \mu$ に及ぼす影響を検討した。

図-3に代表的な実験結果を示す。上方にある右下がりのプロットが $\tau / \sigma_N \sim x / D$ 関係を表しており、 τ / σ_N は粗度 δ が大きくなるほどやや大きくなっている。一方、下方の円弧の一部をなすプロットが $y / D \sim x / D$ 関係であり、当然のことながら表面粗度には無関係である。これらの実験値と理論曲線を比較して $\phi \mu$ を決定し、粗度 δ との関係を示すと図-4のようになり粒子間摩擦角 $\phi \mu$ は粒子の表面粗度 δ が大きくなると若干(最大3°程度)大きくなっている。しかしながら、この実験で $\phi \mu$ の決定には常に2~3°程度の誤差は生じること、 $\delta = 625 \mu\text{m}$ は鉄やすりでアルミの表面を削り込み、しかも「粒子の表面が粗くなると $\phi \mu$ は大きくなるはずである」ことを意識して $\phi \mu$ を決定しても、 $\delta = 0$ の $\phi \mu \approx 16^\circ$ と最大3°程度しか違いがないことを考えると、粒子の表面粗度は粒子間摩擦角 $\phi \mu$ 、ひいては内部摩擦角 ϕ にそれほど大きく影響しないと言えそうである。

2. 粒子接点角が内部摩擦角に及ぼす影響

上記の結果から、アルミ丸棒の粒子間摩擦角 $\phi \mu$ は約16°である¹⁾。アルミ丸棒を図-5のように等間隔に隙間 Δ を空けて接着すると、粒子接点角 θ は図-6に示すように最密状態よりも大きくなり、理論的には内部摩擦角 $\phi (= \phi \mu + \theta)$ は Δ が大きくなるほど大きくなるはずである。このことは、間隙比が大きくなるにもかかわらず内部摩擦角 ϕ が大きくなることを意味するが、図-5に示すように粒子が上下の板に接着されていることを思えば理解される。図-7は隙間 Δ を変化させて行った実験の結果(プロット)、および理論曲線を併せて示したものである。実験値と理論曲線は良く一致しており、この結果、せん断時に生じる相対変位が上層粒子と下層粒子の間のみである場合には、粒状体の内部摩擦角 ϕ は粒子間摩擦角 $\phi \mu$ と粒子接点角 θ の和によって決まることが確かめられた。

粒状体のせん断強度の源を探る一つとして、接着したアルミ丸棒を用いて一面せん断試験を行った結果、せん断時に生じる相対変位が上層粒子と下層粒子の間のみである場合には、粒状体の内部摩擦角 ϕ は粒子間摩擦角 $\phi \mu$ と粒子接点角 θ の和によって決まること、粒子の表面粗度は粒子間摩擦角 $\phi \mu$ (ひいては内部摩擦角 ϕ)にそれほど影響しないことが明らかになった。なお、アルミ丸棒にマシン油を塗っても、 $\phi \mu$ の値にほとんど影響しないことも調べている。

粒状体のせん断強度の源を探る一つとして、接着したアルミ丸棒を用いて一面せん断試験を行った結果、せん断時に生じる相対変位が上層粒子と下層粒子の間のみである場合には、粒状体の内部摩擦角 ϕ は粒子間摩擦角 $\phi \mu$ と粒子接点角 θ の和によって決まること、粒子の表面粗度は粒子間摩擦角 $\phi \mu$ (ひいては内部摩擦角 ϕ)にそれほど影響しないことが明らかになった。なお、アルミ丸棒にマシン油を塗っても、 $\phi \mu$ の値にほとんど影響しないことも調べている。

参考文献 1) 松岡元・斎木清志：2次元粒状体(丸棒)の粒子間摩擦角($\phi \mu$)の一測定法，第27回土質工学研究発表会発表講演集，pp.579~580，1992.6。

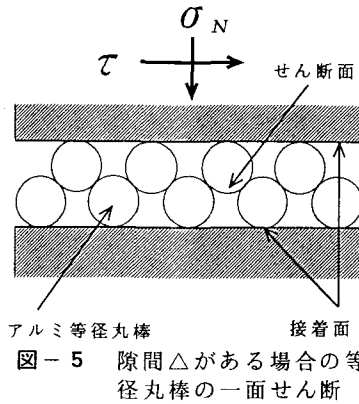


図-5 隙間 Δ がある場合の等径丸棒の一面せん断

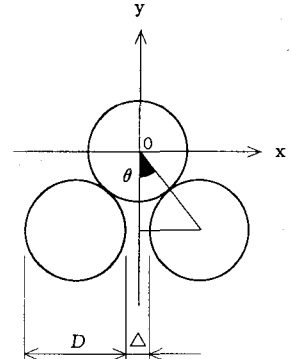


図-6 隙間 Δ がある場合の粒子接点角 θ

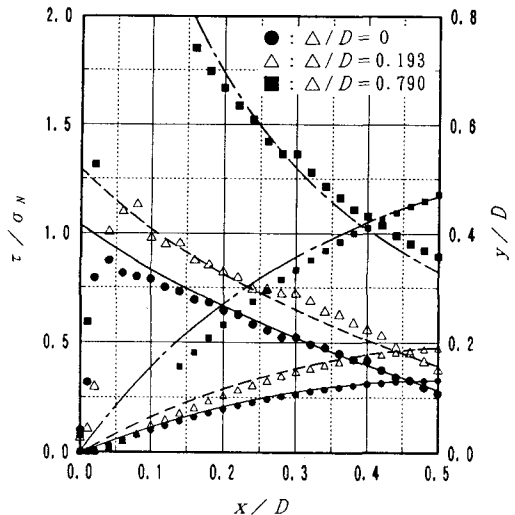


図-7 粒子接点角 θ がせん断抵抗 τ / σ_N に及ぼす影響