

規則配列された2次元均一径粒状体のせん断挙動

前田道路（株）（正） ○中村高之
鳥取大学工学部（正） 榎 明潔
鳥取大学大学院（学） 池田勇司

1. はじめに

本研究では、規則配列された2次元均一径粒状体を異方性 ϕ 材料とみなせることを示し、そのせん断挙動、主に転がり摩擦とすべり摩擦について、変位に注目したアプローチと、力に注目したアプローチの2つの方法によって、どちらの摩擦形態が生じやすいかを調べる。

2. 異方性 ϕ 材料

砂などをせん断すると体積が増減するダイランシーが生じる。これは、図1 (a)の摩擦体モデルを用いて説明できる。せん断力 P の方向に対して、ダイランシー角 ν の傾斜を考へて、鉛直力 Q が作用し、せん断面でのせん断力 T 、垂直力 N 、物体間の摩擦角 μ とする。水平方向と鉛直方向の力のつり合い式 $P=T \cos \nu+N \sin \nu$ 、 $Q=N \cos \nu-T \sin \nu$ と破壊条件式 $T=N \tan \mu$ から $P=Q \tan (\nu+\mu)$ を得るので、せん断面上でのみかけの摩擦角 ϕ は、 $\phi=\nu+\mu$ となる。これは、せん断面の方角によりみかけの強度定数が変化する、すなわち、この粒状体は「異方性 ϕ 材料」と考えられることを意味している。これは、図1 (b)のモデルでも考えることができる。形状が円であることにより、ダイランシー角 ν は、水平変位 x の関数 $\nu(x)$ であり、摩擦角 μ としては、すべり摩擦角 μ の他に転がり摩擦角 ρ も考えられる。また、図1 (c)のように物体が水平面と傾斜角 η だけ傾いた場合は、ダイランシー角 ν は、 $\nu(\eta)=\eta$ となる。したがって、 $\phi=\nu(\eta, x)+\mu=\eta+\nu(x)+(\rho \text{ or } \mu)$ となる。また、円の配列は、配列角 κ で記述する。

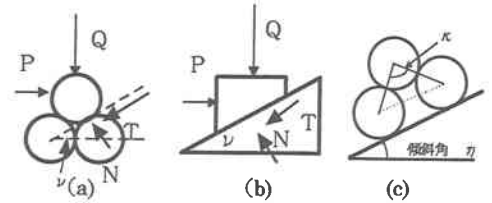


図1 ダイランシーモデル

3. すべり摩擦と転がり摩擦

すべりと転がりの定義としては、円のある点と底面が接したまま移動する場合を「すべり」とし、移動距離と円の円弧の転がった長さが等しい場合を「転がり」とする。

3. 1 一面せん断試験

どのような場合にすべり、転がり摩擦が発生するかを調べるためにステンレス鋼丸棒（直径6mm、長さ7.5cm、すべり摩擦角 $\mu=12.6^\circ$ 、転がり摩擦角 $\rho=1.0^\circ$ ）を用いた一面せん断試験を行った。図2に一面せん断試験機の概要を示す。どちらの摩擦形態になるかに関係する要因としては、傾斜角 η 、配列の層数、配列自体の違い、鉛直荷重の違いなどが考えられる。これらを、実験で調べた。ステンレス鋼丸棒には、鋼棒の中心および回転が判るように、T字形の印を付けた。これをモーターで可動するジャッキにより1.0mm/minのせん断速度で一面せん断試験を行った。また、せん断の様子をそれぞれ写真撮影し、その写真より、DIGITIZERを用いて、鋼棒の座標を記録した。写真には、撮影の際に同時に定規を撮影し、後に座標変換の処理を行う際に利用する。

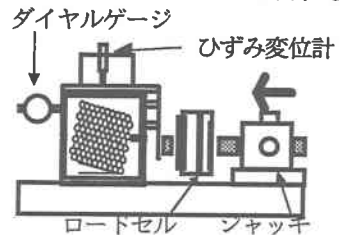


図2 一面せん断試験機

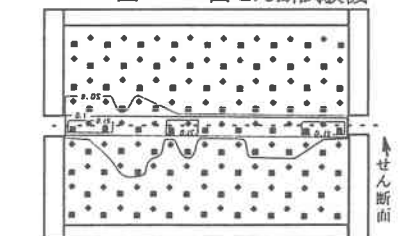


図3 $\kappa=60^\circ$ $\eta=0^\circ$ (0~1.5mm) γ_{max} 実験値

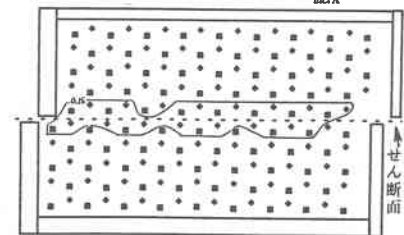


図4 $\kappa=60^\circ$ $\eta=0^\circ$ 一層(0~1.5mm) γ_{max} 実験値

3.2 変位に注目した場合

写真より得た座標より、せん断による個々の鋼棒の水平変位 U 、鉛直変位 V を計算し、3つの接しあう鋼棒の中心座標より、 x 方向のせん断ひずみ ε_x 、 y 方向のせん断ひずみ ε_y 、最大せん断ひずみ γ_{max} を計算した。今回は、最密配列で、傾斜角 $\eta = 0^\circ$ の場合、 $\eta = 0^\circ$ で最密配列にせん断面に側面の拘束を受けない一層、二層、三層をはさんだ場合、特に鉛直荷重を 15kgf に変えた場合、についてデータ処理を行った。図3、図4に実験結果の最大ひずみの分布を、図5、図6に理論の分布を示す。これらより、一層をはさんだ場合は、転がり摩擦が発生していると考えられる。最密配列 $\eta = 0^\circ$ の場合は、すべり摩擦が生じていると考えられる。

3.3 力に注目した場合

傾斜角 η 、真の摩擦角 μ (or ρ)、みかけの摩擦角 ϕ の間の関係は、 $\phi(\eta, x) = \eta + \nu(x) + \mu$ の関係が考えられる。実験結果を図7に示す。せん断力については、水平変位 0.2 あたりまで、真のせん断力が発揮されない助走区間がある。全体的にみると、理論曲線は、実験値と同じ傾向を示している。また、最密配列 $\eta = 0^\circ$ の場合、 $\kappa = 70^\circ$ $\eta = 0^\circ$ の場合、鉛直荷重 15kgf の場合、すべり摩擦、その他の場合は、転がり摩擦、の摩擦形態が生じていると考えられる。また、図8に $\phi - \eta$ 関係を示したが、これからも最密配列、 $\eta = 0^\circ$ の場合のみすべり摩擦で、他の場合は、転がり摩擦であると考えられる。よって、傾斜角が大きくなると、転がり摩擦が卓越してくると考えられる。また、傾斜角が大きくなった場合、せん断箱が傾き、せん断破壊以外の破壊が発生することもある。

4. 結論

今回の結論は、以下のことである。1. 傾斜角が大きいほど、層数が多いほど、すべり摩擦よりも転がり摩擦のほうが生じやすい。2. 規則配列された2次元均一径粒状体を異方性 ϕ 材料とみなせることが再確認できた。今後の課題は、配列角、傾斜角、層数、荷重などの条件のバリエーションを増やして実験・検討を行うこと、対象が微小であるので、測定値の精度の検討を行うこと、などが考えられる。

参考文献

1) 八木・榎：円柱積層体の直接せん断特性，第28回土質工学研究発表会，PP. 841-842, 1993. 2) Rowe. P. W. : The Stress-Dilatancy Relation for Static Equilibrium of an Assembly of Partics in Contact, Proc. Soc., London, A., Vol. 269, pp. 500-527, 1962.

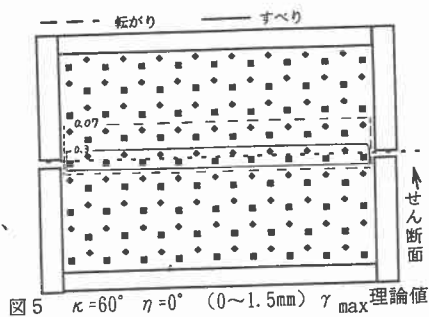


図5 $\kappa = 60^\circ$ $\eta = 0^\circ$ (0~1.5mm) γ_{max} 理論値

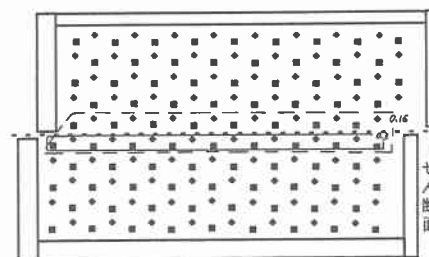


図6 $\kappa = 60^\circ$ $\eta = 0^\circ$ 一層(0~1.5mm) γ_{max} 理論値

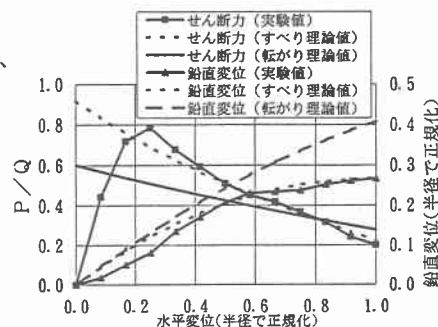


図7 一面せん断試験結果 $\kappa = 60^\circ$ $\eta = 0^\circ$

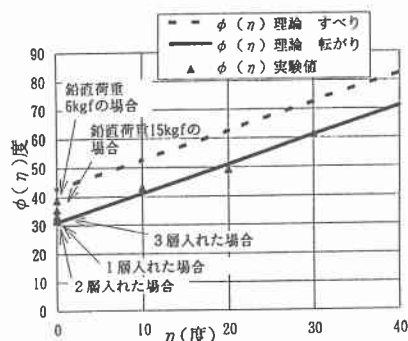


図8 最密配列 $\phi - \eta$ 関係