

III-A 196

規則配列された2次元均一径粒状体のせん断特性に関する研究

鳥取大学大学院 学生会員 池田勇司  
鳥取大学工学部 正会員 榎 明潔

1. はじめに

本研究では、規則配列された2次元均一径粒状体が異方性 $\phi$ 材料とみなせることを示す。そして、ステンレス丸鋼棒を用いた一面せん断試験により、その可否を検討し、この一面せん断試験結果を用いて、ステンレス丸鋼棒積層体の主働土圧挙動を検討する。

2. 異方性 $\phi$ 材料

砂などをせん断すると体積が増減するダイラタンシーが生じる。これは、図1(a)の摩擦体のモデルを用いて説明できる。せん断力 $P$ の方向に対して、ダイラタンシー角 $\nu$ の斜面を考え、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 $\mu$ とする。水平方向と鉛直方向の力のつりあい式 $P = T \cos \nu + N \sin \nu$ 、 $Q = N \cos \nu - T \sin \nu$ 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 $\phi$ は、 $\phi = \nu + \mu$ となる。これは、せん断面の方向によりみかけの強度定数が変化する、

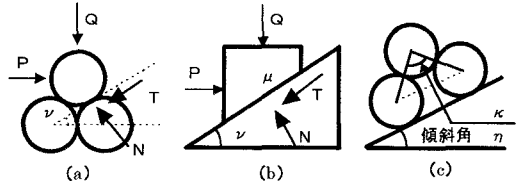


図1 ダイラタンシーモデル

すなわち、この粒状体は「異方性 $\phi$ 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、ダイラタンシー角 $\nu$ は、水平変位 $x$ の関数 $\nu(x)$ であり、摩擦角 $\mu$ は、滑り摩擦角 $\mu$ の他に転がり摩擦角 $\rho$ 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 $\eta$ だけ傾いた場合は、ダイラタンシー角 $\nu$ は、 $\nu(\eta) = \eta$ となる。したがって、 $\phi = \nu(\eta, x) + \mu = \eta + \nu(x) + (\mu \text{ or } \rho)$  (1)となる。また、円の配列は配列角 $\kappa$ で記述する。

3. ステンレス丸鋼棒の一面せん断試験

式(1)が成立するか否かを確認するために、ステンレス丸鋼棒(直径6mm,長さ7.5cm,滑り摩擦角 $\mu = 5.71^\circ$ ,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。なお、今回の全ての実験は、最密配列( $\kappa = 60^\circ$ )で行った。図2に一面せん断試験の概要を示す。

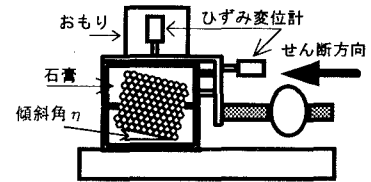


図2 一面せん断試験 概略図

<試験 1:  $\eta = 0^\circ$  の場合で滑り摩擦又は転がり摩擦が生じる場合>

水平変位 $x$ 、垂直変位 $y$ 、ダイラタンシー角 $\nu(x)$ の関係は、幾何学的な条件を考えると、滑りの場合： $\alpha = 2$ 、転がりの場合： $\alpha = 4$ (円の半径： $r$ )として、 $x = \alpha r [-\sin \nu + \sin(\kappa/2)]$ 、 $y = \alpha r [\cos \nu - \cos(\kappa/2)]$ 、 $\nu(x) = \text{Arcsin}(\sin(\kappa/2) - x/(\alpha r))$  (2)。これらの関係を確かめるために、滑りの場合は、固定した2層で、転がりの場合は、固定した2層の間に1層をいれた3層で一面せん断実験を行った。実験結果を図3に示す。全体的には、実験と解

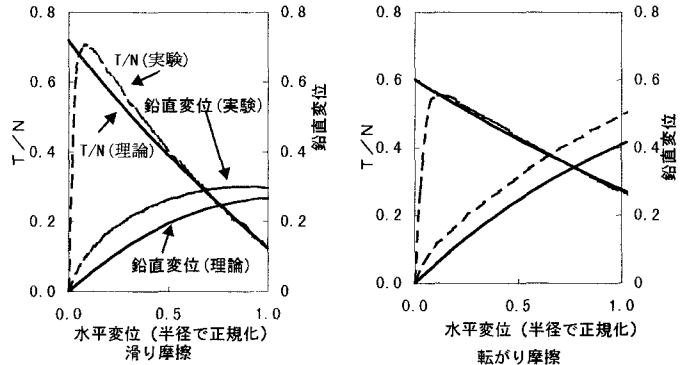


図3 一面せん断試験結果

析は同様の傾向を示している。せん断力は半径で正規化した水平変位 0.07 あたりまで、真の摩擦力が発揮されない助走区間がある。

〈試験 2: 傾斜角  $\eta$  を変化させた場合〉内部摩擦角  $\phi$  は、傾斜角  $\eta$  について  $60^\circ$  の周期関数であるので、式(1)を  $0^\circ \leq \eta < 60^\circ$  の範囲で考え、傾斜角  $\eta$  を変化させて一面せん断試験を行った。結果を図 4 に示す。 $40^\circ, 50^\circ$  については、装置が持ち上がるなどして、他の場合のようなせん断挙動は得られなかった。これは、質的に異なったことが生じていると思われる。しかし、 $0^\circ$  は滑り摩擦が、 $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$  は転がり摩擦が生じていると考えると式(1)は、成立している可能性は十分にある。

#### 4. ステンレス丸鋼棒積層体の主働土圧挙動

式(1)が成立しているとし、主働土圧問題を検討する。まず、せん断面の入る角度を考える。初期状態  $v(x) = v(0) = 30^\circ, \mu = 0^\circ$  の場合の  $\phi(\eta) - \eta$  関係は、図 5 のようになり、 $\phi(\eta)$  は、不連続関数となる。図 6 のようにせん断面の角度を  $\theta$ 、配列の傾きを  $\omega$  とする。図 6 中の四角形に注目するとその中は一面せん断の状況になっており、傾斜角  $\eta$  との関係は、 $\eta = \theta - \omega$  となる。 $\omega = 0^\circ$  の場合、図 5、図 6 の関係 ( $\phi = \eta + 30^\circ + \mu, \eta = \theta$ ) とくさび型土塊に対するクーロンの主働土圧  $P$  を考えて、主働土圧  $P(\theta)$  の最大値を求めると  $\theta = 60^\circ$  で最大値をとり、この角度でせん断面が入ると考えられる。次に、水平変位  $x$  と主働土圧  $P$  との関係を考える。主働土圧  $P$  のせん断面が  $\theta = 60^\circ$  の場合、主働土圧の水平変位  $x$  とせん断面での変位  $u$  の関係は、幾何学的な関係より、 $u = 2x$  である。式(2)の  $x$  に  $u$  を代入した式を用いて主働土圧  $P(x)$  が計算できる。主働土圧実験は、最密配列で鋼棒を並べ、側壁を  $1 \text{ mm/min}$  で移動し土圧を測定した。結果を図 7 に示す。一面せん断試験の結果と比較すると、半径で正規化した水平変位 0.03 までの助走区間後、水平変位 0.1 付近までは、大体の一致がみられる。その後は、最密配列という条件が崩れているため一致しないと考えられる。したがって、水平変位に対する主働土圧の挙動が、一面せん断試験結果により理解できると考えられる。

#### 5. おわりに

ステンレス丸鋼棒を用いた一面せん断実験結果より式(1)が成立する可能性は十分にあり、せん断試験の結果より主働土圧の挙動が説明できる。したがって、2次元均一径粒状体は、異方性  $\phi$  材料として取り扱える。今後の課題は、主働土圧のせん断面での転がり摩擦や滑り摩擦の生じる条件が明確ではなく、これを調べることで、転がり摩擦と滑り摩擦を明確に区別して傾斜角  $\eta$  を変化させた場合の一面せん断試験を行うこと、受働土圧挙動を調べることなどがある。

- 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 Particles in Contact, Proc. Soc., London, A., Vol. 269, pp. 500-527, 1962.

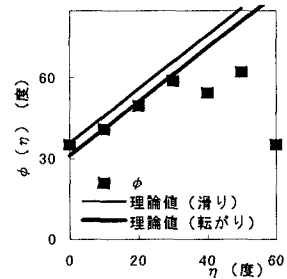


図4  $\eta - \phi$  関係  
理論値と実験値

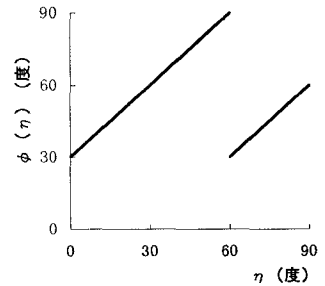


図5  $\eta - \phi(\eta)$  関係 ( $\mu = 0$ )

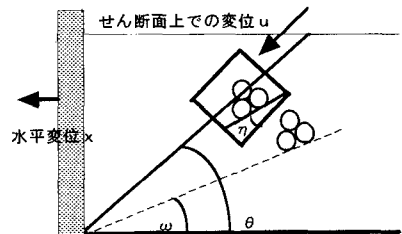


図6 主働土圧

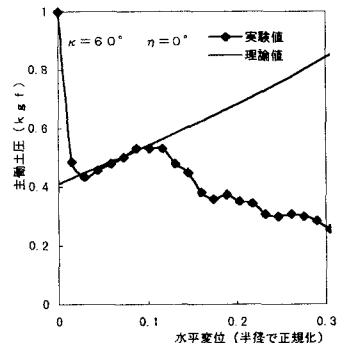


図7 主働土圧実験結果と理論値