

第Ⅲ部門

摩擦角を考慮した粒状体の極限解析

京都大学工学部 正会員 土岐 憲三 京都大学工学部 正会員 田村 武
京都大学大学院 学生会員 山田 康弘 京都大学大学院 学生会員 ○小池 渉

1. はじめに 砂のような粒状体の大局的な変形は、個々の粒子の変形よりも粒子の回転や粒子間のすべりによる要因が大きいと思われる。そこで、粒子自体は剛体とし多数の粒子集合体の剛塑性解析に基づき、極限状態の外荷重の大きさと粒子全体の速度場を計算するとともに、簡単な室内実験を通してその結果を検証した。前報¹⁾では、粒子間には粘着力（法線力に依存しないせん断抵抗）を仮定したが、ここでは粒子間には摩擦角もあわせて考慮して、摩擦角の効果と粘着力の効果を比較した。また粒子全体でみた大局的な粘着力及び内部摩擦角についても解析を行った。

2. 解析と実験の概要 図-1に示すように、 60° に傾けた斜面内に同じ大きさの円形粒子を規則的に配置し、右側の壁を一樣に左方向に押しつける。そのときの極限つりあい状態について解析を行う。解析には前報と同じように、塑性論に基づく上界法に線形計画法を適用した。ただし、新たに粒子間の摩擦角（ 10° ）も考慮した。粘着力のみの場合は1回の線形計画法で解が求められることに対して、摩擦角がある場合には、予め粒子間の法線力が未知であることから、何回かの線形計画法による計算が必要となる。ここでは、それぞれの法線力がほぼ一定に収束するまで繰り返し計算を実施した。

実験は、テフロン加工した平板に10円硬貨を同様にならべ、その平板を 60° に傾斜させて右方からわずかに押したところで変位場の写真をとった。極限状態の荷重の計測は行っていない。

3. 結果と考察 図-2.1は粘着力のみを考慮した場合、図-2.2は粘着力に加え摩擦角を考慮した解析結果である。点線は初期状態を、実線は要素の動きをそれぞれ表している。矢印は接触点における相対的なすべりを表している。この2つの解析結果と実験結果（写真-1）との比較を行うと、粘着力のみを考慮した解析結果もある程度実験結果との一致がみられるが、摩擦角を考慮した解析結果のほうが実験結果とよく一致している。

要素の数を増やしていくときの極限荷重の値の変化は図-3のようになる。縦軸に極限荷重、横軸に縦方向の要素数を取り、横方向の要素数が2～10の場合について示してある。重力が作用するため、極限荷重の値は縦の要素数のほぼ2次関数になることがわかる。また横方向に要素数を増やしていくと極限荷重の値は減少し、次第に一定値に近づいていく。したがって水平方向の要素数は10列程度では十分と思われる。

粒状体の上部に等分布荷重を作用させ、そのときの極限荷重の値を求めることによりモールの応力円を描くことができる。等分布荷重の値を変えて計算することによりモールの応力円が複数描け、その包絡線を求めることにより大局的な粘着力、内部摩擦角が求められる。図-4は要素数を縦8行、横10列で計算した結果である。ただしこの場合要素に作用する重力は考慮していない。

4. まとめ 剛体からなる粒状体の極限解析を行った。とくに粒子間の摩擦角と粘着力の効果について比較を行ったが、前者を仮定した方が、硬貨を用いた室内実験をよく再現できることがわかり、粒状体が塑性崩壊するときの極限荷重の大きさと要素数の関係についても明らかになった。また粒子間の粘着力、摩擦角をあたえたとき大局的な粘着力、内部摩擦角を求めることができた。今後要素間の摩擦角と粒状体全体の内部摩擦角の関係を調べる予定である。

参考文献

1) 土岐、田村、山田：粒状体の剛塑性解析について、第30回地盤工学研究発表会講演集、pp.553 - 554
平成7年7月

Kenzo TOKI, Takesi TAMURA, Yasuhiro YAMADA, Wataru KOIKE

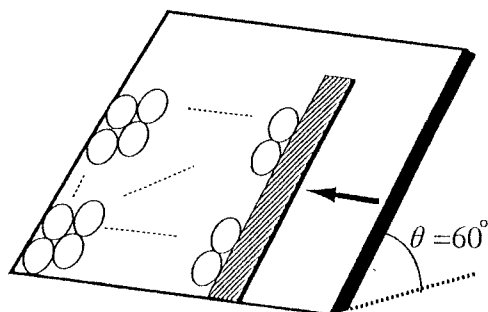


図-1 モデル



写真-1 実験結果

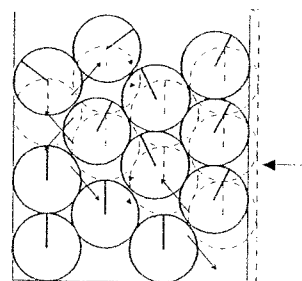


図-2.1 粘着力のみを考慮した解析結果

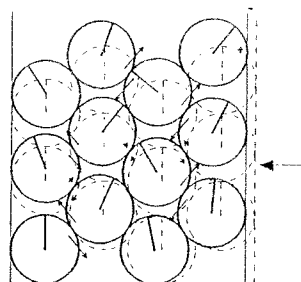


図-2.2 摩擦角を考慮した解析結果

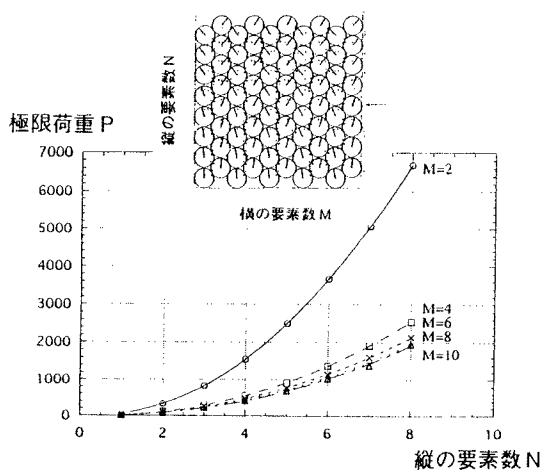


図-3 極限荷重の値

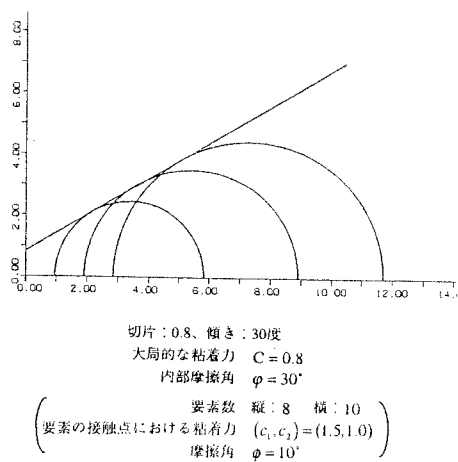


図-4 大局的な粘着力、内部摩擦角