

Ⅲ-B 385 換算垂直応力に基づく整理方法の粘着成分を有する粒状材料への適用性

神戸大学工学部 正会員 加藤正司
 (株)大林組 正会員 山本修一
 (株)銭高組 中元 修

1. はじめに 不飽和土では土粒子間に粒子間付着力が作用し、粘着成分を有する粒状材料として取り扱うことが可能である。このような材料に対しては、粒子間付着力が小さな場合は、換算垂直応力($\sigma_0 = c \cdot \cot \phi$)に基づく整理方法が有効であることが示されている¹⁾。本報告では、粒子間付着力を取り入れた個別要素法(DEM)による二軸圧縮試験のシミュレーションを行い、その結果に基づいて、この整理方法の粒子間付着力が増大した場合への適用性について検討を加えた。

2. 解析方法 解析に用いたプログラムは GRADIA²⁾である。粒子間付着力は、あらかじめ指定された一定の力として各粒子接点における接平面の法線方向に導入される。解析に用いた材料定数は、二次元アルミ棒積層体の二軸圧縮試験シミュレーション²⁾で使用されたものである。供試体(高さ約 57.9cm, 幅約 42.9cm)は、直径 5mm と直径 9mm の粒子をそれぞれ重量比で 3:2 に混合したものを想定しており、粒子数は 7641 個である。一定の拘束圧($\sigma_3=49\text{kPa}$)のもとでパッキング後、粒子間付着力($P=1.96\sim 49\text{N}$ の 5 種類)を導入した。その後せん断試験を行うか、あるいはさらに拘束圧を増加($\sigma_3=490\text{kPa}$)してせん断試験を行った。なおせん断試験は、載荷速度一定(10cm/sec)条件で行った。

3. 解析結果および考察 図-1, 2 は、破壊時のモール円の包絡線より求めた内部摩擦角 ϕ および粘着力 c と粒子間付着力の関係を示している。内部摩擦角 ϕ は粒子間付着力の増大とともに増加する傾向を示している。また、粘着力 c は粒子間付着力の増大とともに比例して増加している。図-3, 4 は $P=0.0\text{N}$ の場合($\sigma_0=6\text{kPa}$)と $P=49\text{N}$ の場合($\sigma_0=412\text{kPa}$)の $(\sigma_1+\sigma_0)/(\sigma_3+\sigma_0) \sim \varepsilon_1 \sim \varepsilon_3$ 関係をそれぞれ示している。 $P=0.0\text{N}$ の場合、 $(\sigma_1+\sigma_0)/(\sigma_3+\sigma_0) \sim \varepsilon_1 \sim \varepsilon_3$ 関係はせん断過程の全域においてほぼ一致する傾向を示すのに対し、 $P=49\text{N}$ の場合、せん断初期にずれを生じており、拘束圧が小さい方が上側に来ていることがわかる。 $\sigma_3=49\text{kPa}$ と 490kPa でせん断前の間隙比はほぼ等しく、間隙比のせん断挙動への影響はほとんどないものと考えられる。よって、 $P=49\text{N}$ の場合のずれは、粒子間付着力が影響していると考えられる。図-5, 6 は、 $P=0.0\text{N}$ および 49N における換算垂直応力を考慮した応力比 $\sim$ ひずみ増分比関係を示している。それぞれの場合で、応力比 $\sim$ ひずみ増分比関係は σ_3 の大きさにより異なる傾向を示しており、粒子間付着力が大きい $P=49\text{N}$ の場合は、その違いが顕著である。

換算垂直応力は、粒子間付着力により生じる粘着力を σ 軸上の応力成分としてとらえたものである。すなわち、ある換算垂直応力が作用している状態は、応力がその分増加して作用しているのと同じであると解釈できる。そこで、ある換算垂直応力の大きさだけ拘束圧を増加した状態と、その換算垂直応力が生じるような粒子間付着力が作用した場合で、せん断挙動がどのように異なるかを比較してみる。図-7 は、拘束圧 $\sigma_3=49\text{kPa}$ で付着力 $P=49\text{N}$ の場合($\sigma_0=412\text{kPa}$, σ_0 と σ_3 の合計は 461kPa)と、拘束圧 $\sigma_3=461\text{kPa}$ で付着力 $P=0.0\text{N}$ の場合($\sigma_0=6\text{kPa}$, σ_0 と σ_3 の合計は 467kPa)の、換算垂直応力を考慮した主応力比 $\sim$ $\varepsilon_1 \sim \varepsilon_3$ 関係を示している。 σ_0 と σ_3 の合計がほぼ同じである 2 つの解析結果は、かなり異なる挙動を示している。この結果は、換算垂直応力が作用している状態は応力がその分増加して作用しているのと同じであるという解釈が成り立たないことを意味している。その原因としては、粒子接平面で垂直に作用する粒子間付着力によって、粒子接点でのすべりが抑制され、見かけの骨格剛性が硬化するためと考えられる。

図-8 は、 $\sigma_3=490\text{kPa}$ の場合で、 $P=0.0$ および 49N の条件でせん断を行ったケースについて、破壊時

キーワード：粒状材料、粘着力、粒子間付着力、個別要素法解析

神戸大学工学部(〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1, 電話・FAX 078-803-6030)

の全粒子接点角分布を比較している。せん断前には、全粒子接点角分布はほぼ円形をしていた。 $P=49\text{ N}$ の場合の方が若干ではあるが、せん断にともなう全粒子接点角分布の円形からの変化の割合が小さくなっている。粒子間付着力の影響により粒子再配列が抑制されているものと考えられる。

参考文献 1) 加藤・松岡, 土木学会論文集, No. 493/III-27, pp.99-107, 1994.

2) 山本修一, 名古屋工業大学博士論文, 1995.

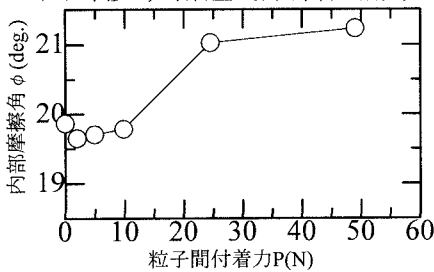


図-1 内部摩擦角 ϕ ~ 粒子間付着力関係

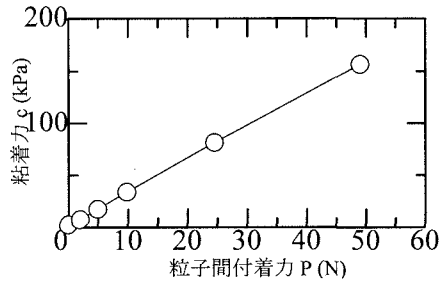


図-2 粘着力 c ~ 粒子間付着力関係

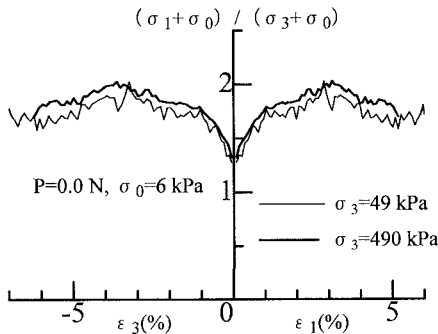


図-3 $(\sigma_1 + \sigma_0) / (\sigma_3 + \sigma_0) \sim \varepsilon_1 \sim \varepsilon_3$ 関係

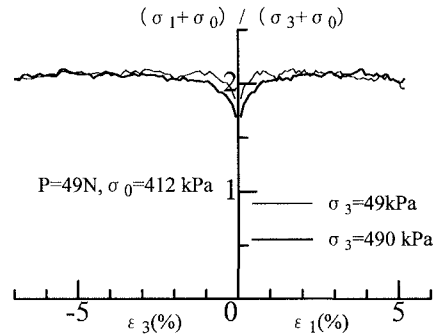


図-4 $(\sigma_1 + \sigma_0) / (\sigma_3 + \sigma_0) \sim \varepsilon_1 \sim \varepsilon_3$ 関係

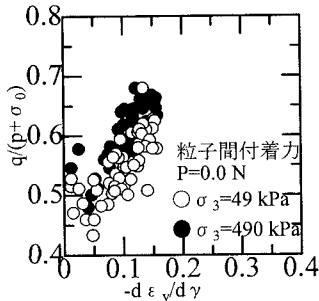


図-5 応力比 ~ ひずみ増分比関係 ($P=0.0\text{ N}$)

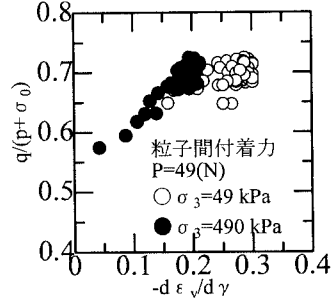


図-6 応力比 ~ ひずみ増分比関係 ($P=49\text{ N}$)

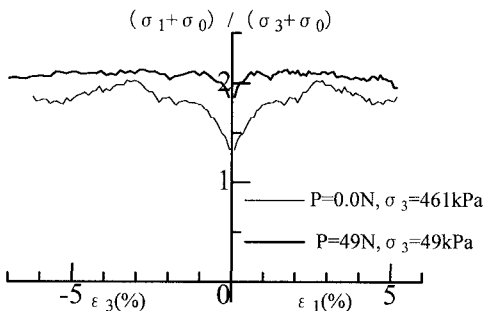
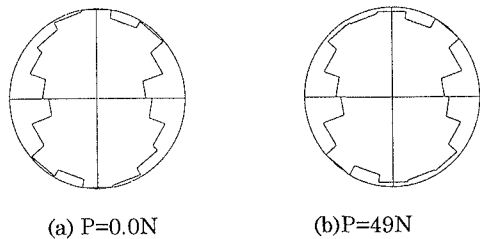


図-7 主応力比 ~ $\varepsilon_1 \sim \varepsilon_3$ 関係



(a) $P=0.0\text{ N}$

(b) $P=49\text{ N}$

図-8 破壊時の全粒子接点角分布の比較