

DEMによる三軸圧縮下における破碎性土の微視的挙動

山口大学 正会員 ○中田 幸男

Cambridge 大学 Malcolm Bolton

1. はじめに

個別要素法解析は、実際の粒状土の微視的力学特性を定性的に捕らえることが可能であるという観点から多くの研究者に用いられ、多くの成果が得られている（例えば、Coundall and Struck¹⁾, Rothenburg and Bathurst²⁾, Thornton³⁾）。しかし、現状の解析では、粒子の弾性変形のみが取り扱われ、粒子破碎のような粒子の塑性変形を取り入れたものとなっていない。このような中で、Robertson⁴⁾、Robertson and Bolton⁵⁾、Nakata, et al⁶⁾、中田ら⁷⁾は、個別要素法をもちいた破碎性土のシミュレーションの開発および検討を行い、定性的かつ巨視的に破碎性土の降伏特性や非排水せん断特性などの力学特性、特にその拘束圧依存性を表現できることを示している。本論文では、それらの個別要素法解析結果に基づいて、破碎性土の微視的力学特性、平均的な接点数やファブリックテンソルなどについて検討を加えるものである。

2. DEMによる破碎性土の定体積三軸圧縮挙動

ここでは、本来の土粒子を、個別要素法における球要素の集合体（かたまり）として表現している。その集合体内の接点間には、初期に結合強度を与えている。この結合強度は、引張力およびせん断力に対して有効に作用し、その限界をいずれかが超えて以降は、その作用を失う。これらの一連の過程として破碎現象を表現しようとするものである^{6),7)}。図1は、その球要素のかたまりを389個集合させた供試体に対し、拘束圧40kPaより始めた定体積圧縮試験の結果を示したものである。図(a)には、軸差応力と軸差ひずみの関係および、初期の結合数に対する消失した結合の割合と軸差ひずみの関係を示している。有効応力経路を示す図(b)に示された丸は、粒子破碎を起こした応力点であり、その大きさは凡例に示すように粒子破碎の程度を表している。凡例の値は、破碎したかたまりの破碎前の球要素数に対する、破碎後の小さなかたまりの球要素数の割合を示している。つまり、0.5に対応する丸の大きさはちょうど2分割するような破碎が生じたことを示している。実際の土粒子でいえば、小さな丸で示されているものは、角の破碎に対応するといえる。この図から、等方圧縮過程では30MPa以降大きな破碎が発生して

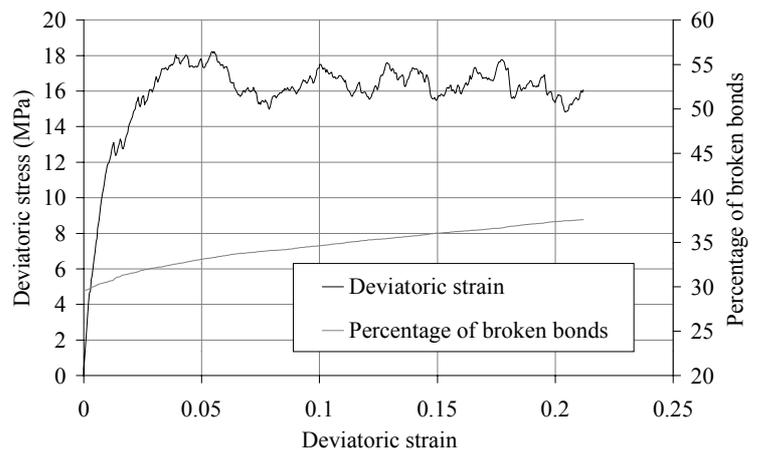


図1(a) 定体積三軸圧縮過程における応力ひずみ挙動

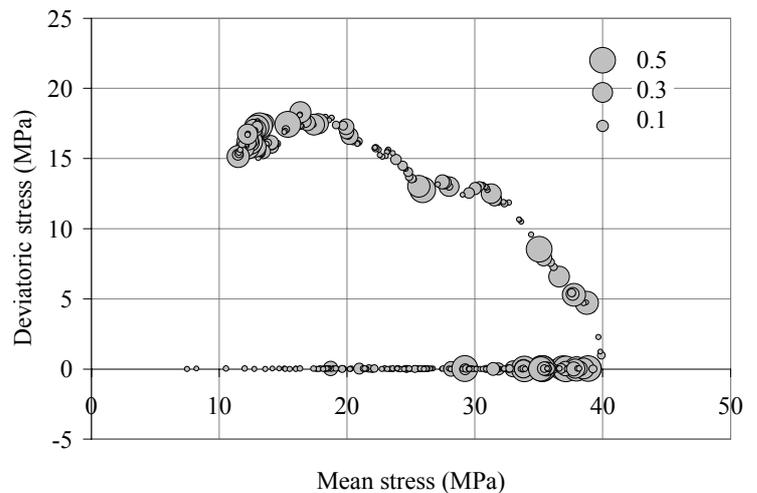


図1(b) 定体積三軸圧縮過程における有効応力経路

キーワード 破碎性土, 個別要素法解析, 微視的特性

連絡先

〒755-8611

山口県宇部市常盤台 2-16-1

TEL0836-85-9341

<http://geotech.civil.yamaguchi-u.ac.jp/>

いること、定体積圧縮過程では、せん断初期からは大小の破碎が断続的に起き、限界状態に達したところで多くの大きな破碎が発生していること、がわかる。

3. 定体積三軸圧縮過程における微視的挙動

図2は、その定体積圧縮過程における微視的パラメータの変化について示したものである。ここで取り扱う微視的パラメータは、Thornton³⁾で定義されている力学的平均接点数を土粒子としてみなすかたまりに対して求めたものと、かたまり（いわゆる土粒子）の数、かたまり間の接点数、かたまり間の接点のうちすべり状態にある接点数、Satake⁸⁾によって定義されているファブリックテンソルについて示している。ここで、すべり状態にある接点は、その垂直力下における最大せん断力の99%以上のせん断力が作用している接点とした。せん断中の力学的平均接点数は、初期においては平均有効主応力の大きさに対応するように減少しているものの、その後はかたまりの増加に対応するように徐々に増加している。ファブリックテンソルは、偏差ファブリックとして示しているが、せん断初期では0.015と、その構造がきわめて等方的な状態となっていることを示唆する値を示した。その後、軸差ひずみの増加とともに増加し、20%に達したところで0.15となり、誘導異方性の発達をしめした。

参考文献

- 1) Cundall, P. A. and Strack, O. D. L. (1979): "A discrete numerical model for granular assemblies," *Geotechnique*, Vol. 29, No.1, pp.47-65.
- 2) Rothenburg, L. and Bathurst, R.J. (1992): "Micromechanical features of granular assemblies with planar elliptical particles," *Geotechnique*, Vol.42, No.1, 79-95.
- 3) Thornton, C. (2000). Numerical simulations of deviatoric shear deformation of granular media. *Géotechnique*, Vol.50, No. 1, pp.43-53.
- 4) Robertson, D. (2000). Computer simulations of crushable aggregates. Ph.D. dissertation, Cambridge University.
- 5) Robertson, D. and Bolton, M. D. (2001), "DEM simulations of crushable grains and soils," *Powders and Grains 2001*, Kishino (ed.), pp. 623-626.
- 6) Nakata, Y., Cheng, Y. P., Bolton, M. D.(2002), "DEM simulation of crushable soil," *Géotechnique* (submitted)
- 7) 中田,Bolton(2002), "破碎性土の個別要素法シミュレーション,"第37回地盤工学会講演概要集
- 8) Satake, M. (1982), "Fabric tensor in granular materials," In *Deformation and failure of granular materials* (eds. P. A. Vermer and H. J. Luger), pp.63-68, Rotterdam

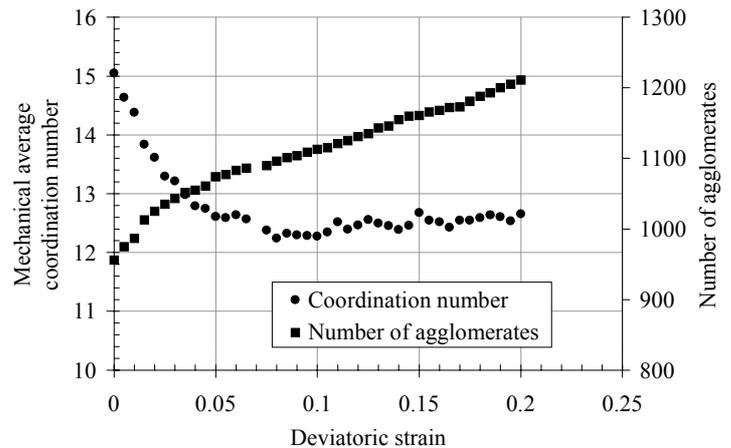


図2(a) 力学的平均接点数と粒子数の変化

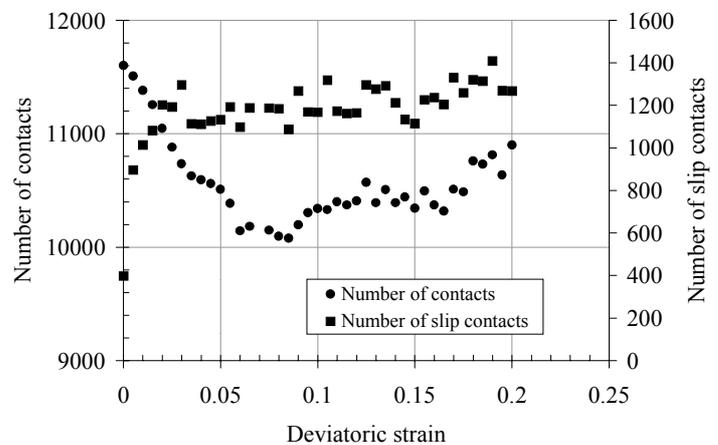


図2(b) 接点数とすべり状態にある接点数の変化

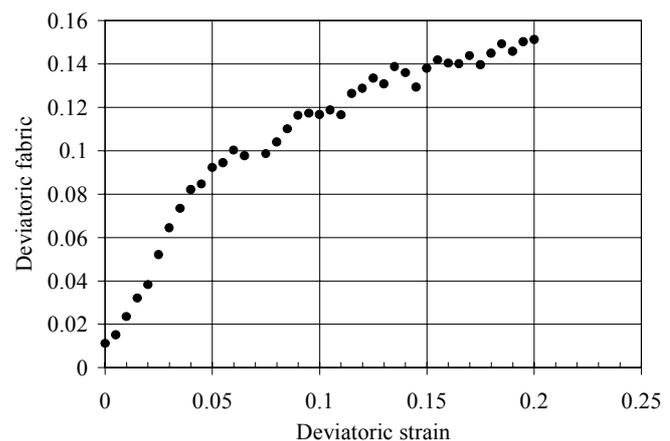


図2(c) 偏差ファブリックの変化