

CS-1

粒状材料における Dislocation と塑性変形

神戸大学農学部 正員 ○阪口 秀
京都大学農学部 正員 村上 章
同上 正員 長谷川高士

1. はじめに

地盤工学におけるいくつかの問題では、「せん断帯」と呼ばれる或る幅をもつ領域で局所化された変形が顕在し、この幅は粒子径の10~20倍であることが報告されている¹⁾⁻³⁾。しかし、このような「せん断帯」の中で何が起っているのか?、「せん断帯」でだけ変形が発生しているのか?、あるいは、「せん断帯」の幅にどのような意味があるのか?、といったことは未だ明らかにされていない。本文では、こうした問題について粒状体からのアプローチを試みる。

2. Trap-door に関する数値実験

ここでは、上記問題の例として‘Trap-door’を取上げる。図1は本文で行うDEMによる数値実験の設定を示しており、直径8mmの粒子および直径10mmの粒子各6,000個から成る槽内の初期間隙比は0.858である。Trap-doorの上昇速度は、計算処理速度を考慮して20mm毎秒(1計算ステップは0.001mm)とした。

この時、図2にあるような「Dislocationベクトル」を定義する。すなわち、ある時刻 t に接触していた点が、時刻 $t + \Delta t$ にもはや接触していなければ(図2では点 P_i と P_j がこれにあたる)、 P_i と P_j を結ぶベクトルがDislocationベクトルとなる(図2(c))。粒状材料の塑性変形はこうした粒子間接触のDislocationから成っている⁴⁾。以下では、このベクトルの分布と粒子の変形とを比較しながら、いわゆる変形の局所化が発生している間の粒子の動きを観察する。砂粒を用いた実験の観察では、Dislocationベクトルを求めることがほぼ不可能であるため、DEMによるシミュレーションを数値実験と位置づけている。DEMで単なるアニメーションを楽しむわけではないことを強調しておきたい。

3. Dislocation の発生と変形の局所化

図3は $\delta = 40\text{mm}$, 60mm , 80mm の時の粒子の変形を表し、図4, 図5は $\delta = 30\text{mm}$, 50mm , 70mm の時よりdoor上昇0.4mmの間に見られるDislocationベクトルと粒子中心の変位ベクトルの分布を示している。いわゆる従来からの色砂によるTrap-doorや支持力実験の観察による「せん断帯」は、無変形状態から蓄積される変形パターンを示しているだけで、ある時刻において変形が展開されている場所を明示しているわけではない⁵⁾。だから、せん断帯の観察だけでは粒子同士のすべり、回転、離合による変形の生成過程を明瞭にすることはできない。そこで本文では、粒状体の立場に基づくアプローチを試みるために、上で定義されたDislocationベクトルの消長を観察しながら「せん断帯」の動態を観察する。

図4および5によれば、次のことが見て取れる：1)いわゆるせん断帯が発生する間、Trap-door隅角部から現れるDislocationベクトルは、せん断帯領域で発生・消滅を繰り返す(図4)；2)せん断帯領域では、粒子の「渦」がやはり発生・消滅を繰り返しているが、この渦の大きさがちょうど粒子径の10~20倍にあたる(図5)。このような領域における渦の発生は流体にはよく見られる現象で、せん断による大きな変形を受ける粒状体にも、回転運動の考慮が必要であることを示唆している。

参考文献：1) Vardoulakis, I., Graf, B. and Gudehus, G. : Trap-door problems with dry sand: A statical approach based upon model test kinematics, *Int. j. numer. meth. geomech.*, 5: 57-78, 1981. 2) Tanaka, T. and Sakai, T. : Progressive failure and scale effect of trap-door problem with granular materials, *Soils and Foundations*, 33(1): 11-22, 1993. 3) 酒井俊典・宮内定基・堀田 隆：アンカー問題における粒子径効果について，農業土木学会論文集，(175): 73-80, 1995. 4) Chang, C.S. : Dislocation and plasticity of granular materials with frictional contact, *Powders & Grains '93* (Thornton, ed.), pp.105-110, 1993. 5) Desrues, J. : An introduction to strain localization in granular materials, *Physics of Granular Media*, Nova Science, pp.127-142, 1991.

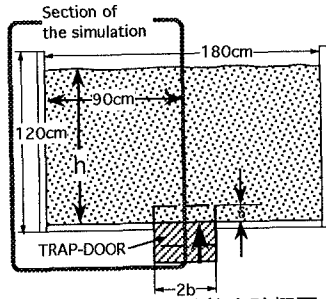


図 1: Trap-door 数値実験概要

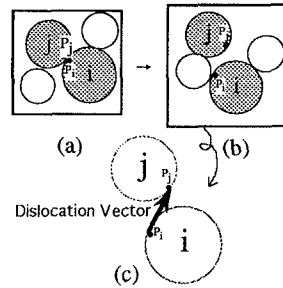


図 2: Dislocation ベクトルの定義

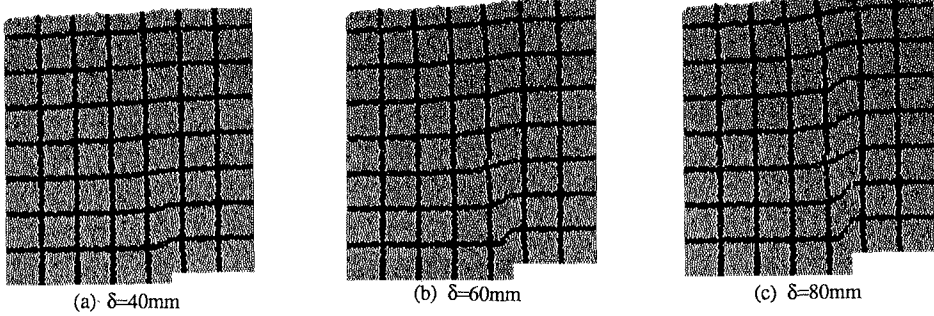


図 3: 変形のスナップショット

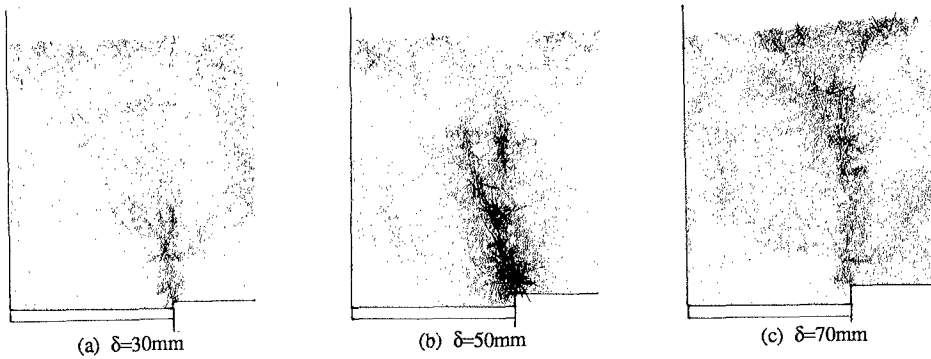


図 4: Dislocation ベクトルの分布(50倍)

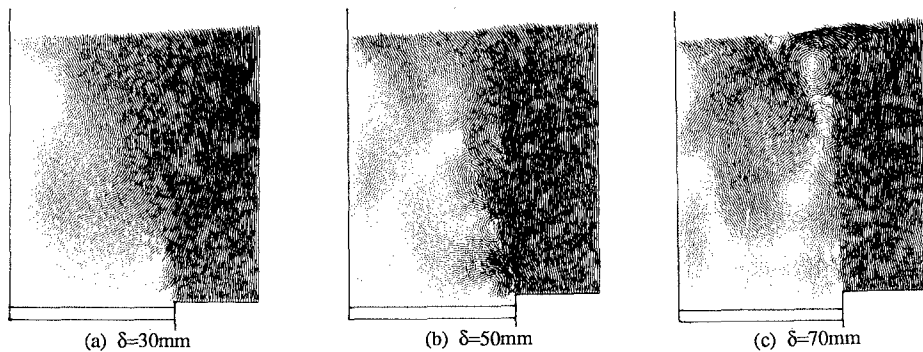


図 5: 変位ベクトルの分布(25倍)