

京都大学大学院 学生員 ○吉田 竜也, 松島 祥樹  
 京都大学大学院 正会員 肥後 陽介  
 京都大学大学院 フェロー 岡 二三生

1. 研究の目的

粒子破碎とは、主に、軟弱な粒子で構成される土や、非常に高い圧力を受ける土で発生する現象である。特徴としては、土粒子の破碎により、地盤の力学特性が変化し、予想と異なる挙動を示すことがあげられる。本研究ではμ X 線 CT により破碎性材料であるまさ土の内部構造変化を一次元圧縮の前後で可視化すること、CT 画像解析により土粒子の個数、径を求め、粒子破碎の程度を定量化することを試みた。

2. CT 撮影, 一次元圧縮の概要

本研究では、実験試料にまさ土(土粒子密度:2.70g/cm<sup>3</sup>)を粒径 2.0mm~4.75mm に粒度調整したものをを用いた。この粒度調整の目的は、粒子破碎を生じやすくすること、および CT 画像上で粒子を確認し易くすることである。一次元圧縮は静的締固め機を用いて行い、まさ土供試体の圧縮前および圧縮後(除荷)に CT 撮影を行った。CT 撮影にはμ フォーカス X 線 CT スキャナ装置(KYOTO-GEO μ XCT)<sup>1)</sup>を使用した。実験ケース毎の供試体諸量を表-1 に示す。撮影は、スキャンエリアが 36.8mm, voxel サイズが 36 μ m × 36 μ m × 55 μ m. という条件のもとで行っており、供試体全体が含まれるようになっている。

表-1 供試体諸量

CaseNo.	1		2		3	
	圧縮前	圧縮後	圧縮前	圧縮後	圧縮前	圧縮後
状態	気乾					
圧縮圧力	3MPa		5MPa		10MPa	
間隙比	1.52	1.01	1.67	1.25	1.39	0.720
密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.07	1.34	1.01	1.20	1.13	1.57
高さ(mm)	11.97	9.605	14.96	12.55	12.38	8.862
直径(mm)	34.5					

3. CT 撮影画像と粒度分布変化

図-1~図-3 に Case-1~Case-3 の圧縮前後の水平断面および、鉛直断面の CT 撮影画像の一例をそれぞれ示す。また、図-4 に圧縮前後の粒度分布の変化を示す。粒度分布変化から確認できるように、圧縮圧力が大きくなるにつれ、破碎の程度が大きくなっており、3MPa, 5MPa では局所的に破碎が生じているのに対し、10MPa では全体に分布していることが確認できる。

4. CT 画像解析による粒子破碎挙動の定量化

4.1 解析手順

CT 画像をもとに粒子数、粒径を求めることを試みた。解析手法としては松島ら(2008)<sup>2)</sup>に準じた方法を用い、Case-1 に適用した。解析対象は撮影した全断面画像、すなわち、供試体全体である。以下に解析の流れを簡単に示す。

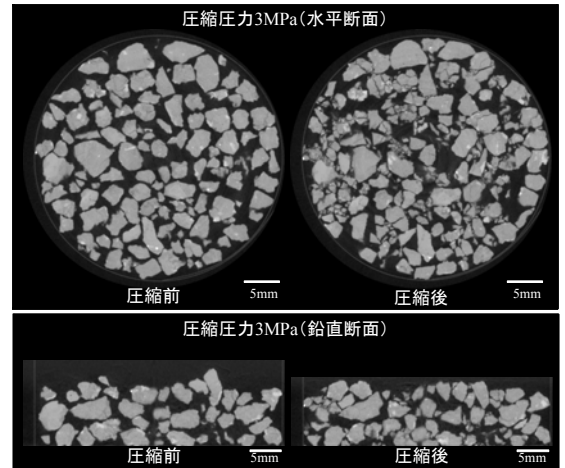


図-1 CT 撮影画像(Case-1)

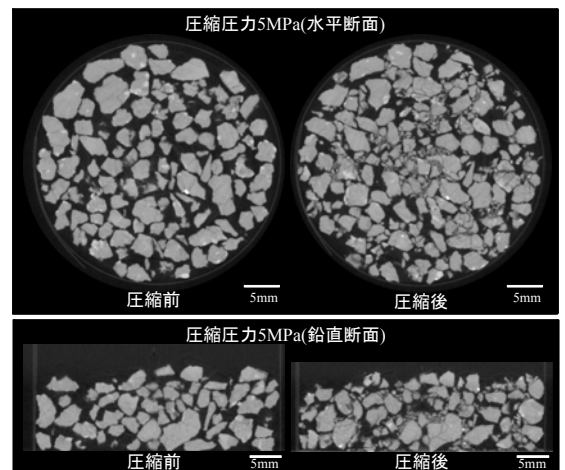


図-2 CT 撮影画像(Case-2)

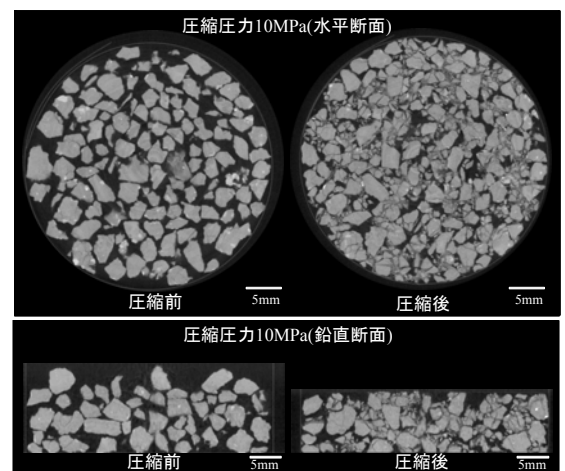


図-3 CT 撮影画像(Case-3)

### (1)CT 画像の二値化

CT 画像を土粒子部分と空気間隙部分とで二値化する。二値化の際の閾値は、供試体質量を土粒子密度で割った体積と CT 画像上の体積が一致するように決定する。

### (2)穴埋め処理

二値化終了後の土粒子内部の空気間隙部分を土粒子に同化する。

### (3)エロージョン

土粒子部分を表す voxel の内、空気間隙部分を表す voxel に接しているものに段階的に空気間隙部分の voxel 値を与えていき、画像上で個々の土粒子を分離する。

### (4)クラスターラベリング

独立したひとつながりの土粒子 voxel 群をクラスターとし、それぞれのクラスターに番号をつける。エロージョン回数が適切であればクラスター数は土粒子数に近くなる。

### (5)帰属処理

分離のためにエロージョンした個々のクラスターをもとの大きさに戻す。

(1)~(5)の処理によって個々の土粒子が分離できる。その後各粒子の最大寸法を求める。最大寸法と直交する平面に土粒子を投影したときの投影平面内での最大距離を短径(Minor diameter)と定義し、この短径で土粒子がふるいを通過するものと仮定する。短径を求め、ふるい分析により求めた粒度分布と CT 画像解析により求めた粒度分布を比較した結果を図-5 に示す。

## 4.2 解析結果

図-5 を見ると、解析により求めた粒度分布の方が径を大きく評価しているが、定性的にはふるい分けに近いものとなった。また、CT 画像解析には、連続的なデータが得られるという利点がある。図-6、図-7 に圧縮前後の土粒子の短径のヒストグラムを示す。このように CT 画像解析では、質量分布のみでなく細かい個数分布も得ることができる。

## 5. 結論

$\mu$  X線 CT により、一次元圧縮条件下でのまさ土の粒子破碎挙動を可視化した。また、CT 画像解析により求めた粒度分布は定性的にふるい分けによるものと良い一致を示した。

今後の課題としては、CT 画像データから 3 次元的な破碎の分布を調べること、接触点や接触の方向性、接触面積を求め、圧縮前後の画像で相関を取り粒子破碎のメカニズムを検討すること、ガラスビーズ等の粒径・個数既知の材料を用いて CT 画像解析により求めた粒度分布の定量的な妥当性を検証すること等があげられる。

## 参考文献

- 1)Higo, Y., Oka, F., Kimoto, S., Sato, T., Sawada, M., and Sanagawa, T. : Visualization of Strain Localization and Microstructure in Soil Specimens using Microfocus X-ray CT, The 21<sup>st</sup> KKCNN Symposium. on Civil Engineering., October27-28, 2008, Singapore, pp.444-447, 2008.
- 2)松島亘志, 上杉健太郎, 中野司, 土山明 : Spring-8 マイクロ X 線 CT による粒状体の 3 次元微視構造の定量化, 応用力学論文集, Vol.11, pp.507-515, 土木学会, 2008.

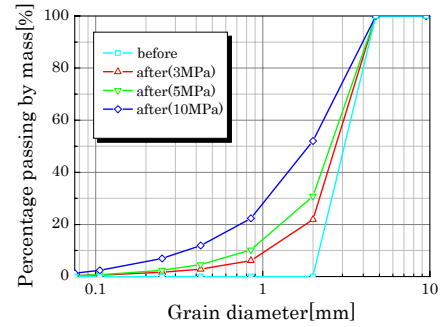


図-4 圧縮前後の粒度分布変化

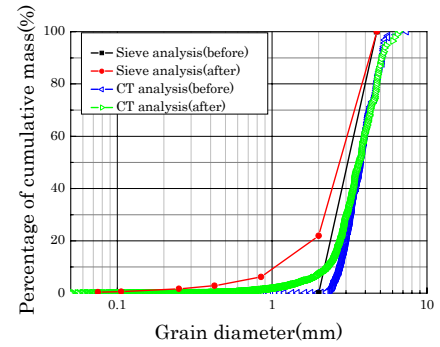


図-5 CT 画像解析とふるい分析の比較

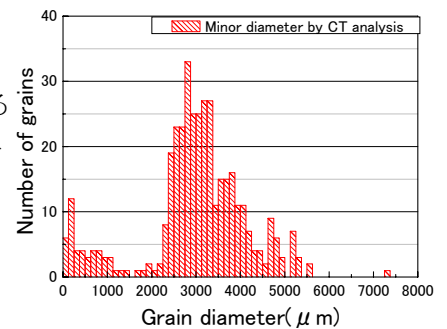


図-6 圧縮前ヒストグラム

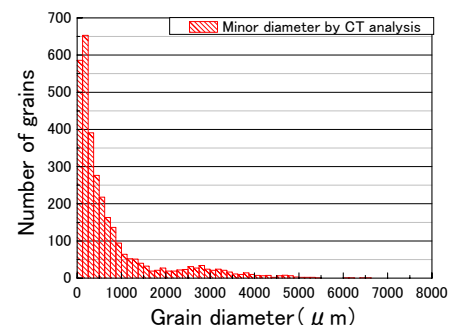


図-7 圧縮後ヒストグラム