

X線CTによる礫混合土のせん断破壊過程の微視的考察

Microscopic image analysis of sheared gravel soil by X-ray CT

木山 正一* ・ 青山 咸康*
Kiyama Shochi, Aoyama Shigeyasu

1. はじめに

礫が介在する締固め土のせん断挙動の大きな特徴は、礫同士のスベりに伴うインターロッキング構造の崩壊により、亀裂や大きな間隙が生じることである。これらの存在は間隙水の浸入を容易に許し、砂・粘土に比べて局所的な透水性の変化が極端に表れ、土構造物の力学的諸問題の原因になる。ここでは主に、礫混合土のせん断に伴う亀裂の進展をCT非破壊試験により画像診断し、亀裂成長の基本的なメカニズムを考察した。

2. 試験方法

試料は最大粒径 9.5mm、礫混合率 40%、細粒分 27%の礫質土である。直径 10cm、高さ 20cmの供試体は標準締固めエネルギーにて5層で突き固め法により作製した(湿潤密度は 2.151gf/cm³、飽和度 87.5%)。X線CTによる非破壊検査(SMX-225CT, SHIMADZU製)は一軸圧縮試験と別に3度行った。Fig.1は荷重履歴曲線で、撮影は試験前および最大荷重到達後2回(印)とする。CTイメージはせん断過程のリアルタイム情報ではなく、応力開放状態でサララップにより保湿

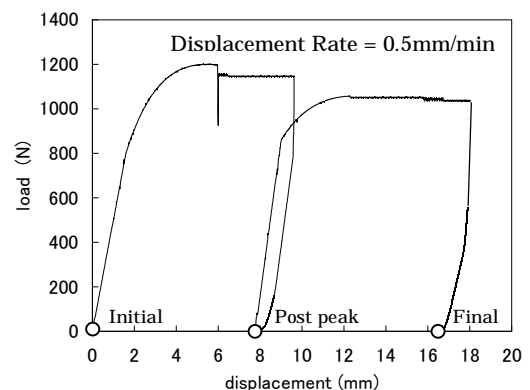


Fig.1 Uniaxial loading history

して得られたものである。スキャン幅 1mmで撮影されたイメージは 512 × 512 画素 (0.2334mm/pixel)、計 201 枚になる。

3. せん断過程のCTイメージ

Fig.2 に試験中の供試体の中心軸を含む 1 縦断面イメージを示す。上は 8 ビット 256 階調イメージである。下は空隙を適当な閾値で抽出したもので、亀裂を画像解析するために必要である。初期供試体では、特に締固め層のつなぎ目に空隙が多く分布し均質な供試体作製の難しさがわかる。Fig.2 中央のイメージは供試体が樽型に変形し始めて間もないもので、X型に亀裂が現われかけている。礫粒界のスベりによることが画像から判断できる。続くせん断では、その亀裂が十分つながって太くなり、上下対称なくさびが現われる。それに伴い、中央高さ左右で特に大きな間隙も発現する。これは、供試体

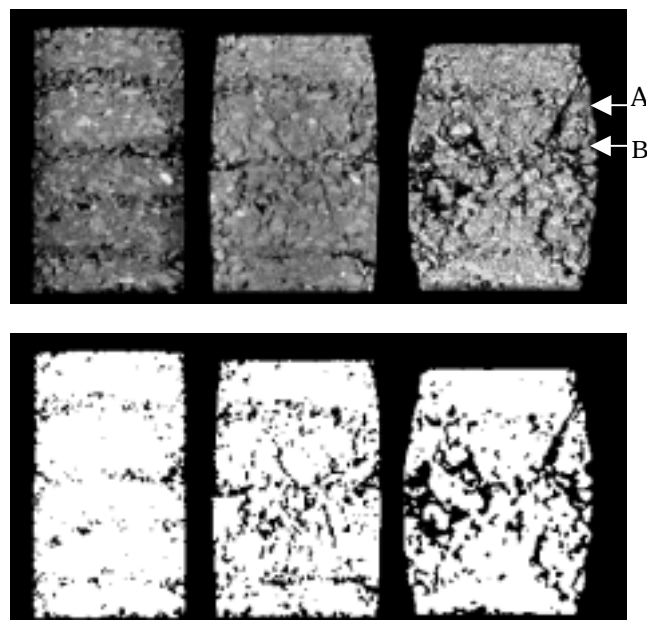


Fig.2 Image of vertical cross section; starting from the left, initial, post peak, final state. Above chart is original. Below chart is 2-tone.

* 京都大学大学院農学研究科, Graduate School of Agriculture, Kyoto University. キーワード; せん断, 亀裂, 礫質土.

中央高さで、礫の剛体運動が最も盛んなためである。一方、締固め層の空隙は消滅し、せん断破壊のメカニズムに締固め層の不整は影響しないことがわかる。

次に、Fig.3 に供試体高さ別の円断面イメージを示す。Fig.3 上 (Fig.2 のレベル A) はくさびの中央付近に相当し同心円状の亀裂がくさびの境界を表している。くさびの先端では放射状に粒界にそって亀裂が大きく開いていく (Fig.3 下)。

4. 不連続な微小亀裂とすべり

CT イメージには微小な亀裂が多く存在する。そのうち、大きな亀裂へと進展する典型的な微小亀裂群は Fig.4 のように配列する。画像解析から (Table1), それらはほぼ垂直 (圧縮方向) に長軸 (最大粒径の 40% 長) をとり、比較的等間隔 (最大粒径の 0.31 倍長) に存在することが判明した。また、微小亀裂群の不連続方向は、 53.67° である。これをすべり面角度と仮定すれば、一軸圧縮強さを良く相関する (Fig.5)。せん断すべりは不連続な微小亀裂の連結によって生じる所以が明らかとなった。

5. 亀裂の大きさと方向性

せん断で生じた亀裂の主長径と主方向の普遍的関係を知るために、ピーク後にあたる等断面部分の画像解析を行った。亀裂イメージ例を Fig.6 に示す。Fig.7 より長径が 8.3mm 以上 (ほぼ最大粒径規模) の進行性亀裂になると亀裂の方向性が定まってくる (横破線上領域)。この長径は微小亀裂と亀裂の境界を表すと考えられる。同時に発達した亀裂は、亀裂の進展に関わる微小亀裂とその亀裂群の方向に該当する領域にも含まれる (縦破線間)。この結果、不連続な微小亀裂のうち、発達する亀裂予備軍 (A 群) とそうでない亀裂 (B 群) に分類されることを示した。

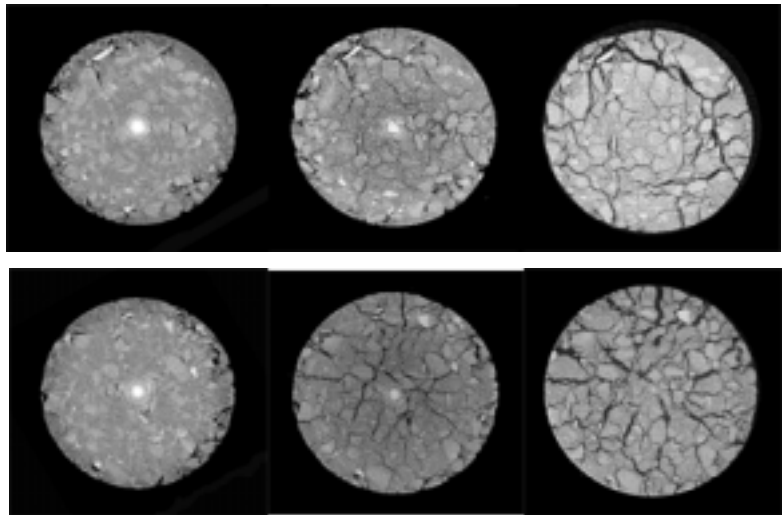


Fig.3 Images of horizontal cross section. Starting from the left, initial, post peak, final state. Above chart is point A in Fig.2, below one is point B.

Table1 geometry on micro-cracks

幾何学量 単位	長径 mm	間隙面積 mm ²	角度 °	円形度	重心間距離 mm
平均	3.70	4.03	97.02	0.54	2.99
標準偏差	2.78	4.38	21.41	0.18	1.03
最小	1.24	0.59	42.43	0.24	1.04
最大	10.36	14.17	106.89	0.85	5.16

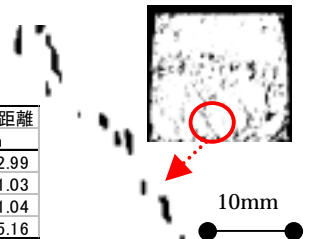


Fig.4 typical configuration of micro-cracks

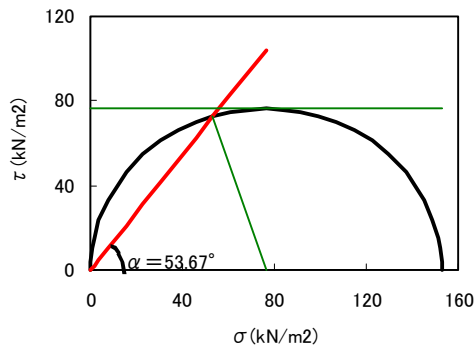


Fig.5 assumed slope angle by micro-crack group & Mohr's circle of stress

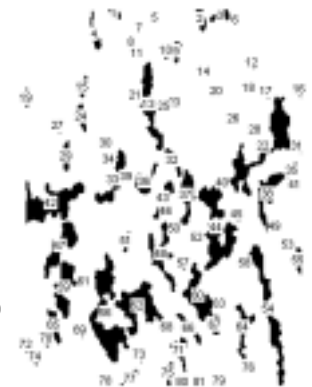


Fig.6 labeling of crack

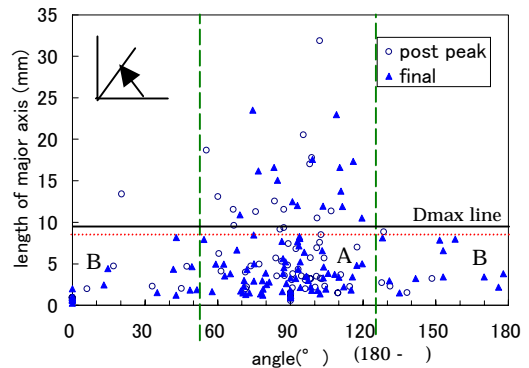


Fig.7 length of cracks & their angle