

Ⅲ - A204 医療用 X 線 CT スキャナーによる密な砂地盤に発達したせん断層の観察と精度の検討

(財) 電力中央研究所 正会員 谷 和夫

1. はじめに

被検体内部の X 線吸収率 (CT 値) の分布を投影定理に基づいて逆解析する X 線 CT 技術を地盤工学分野に利用する考え方は 2 つに分類される。1 つは内部構造を、もう 1 つは物性を調べるケースである。医療用装置で一般的な第 3、4 世代のスキャン方式を採用した場合、X 線の吸収特性が透過 X 線の周波数特性に依存することを厳密に解析できない点やアーチファクトの影響を考慮すると、地盤の物性と CT 値を強引に関係付けるのは適切ではない。一方、内部構造を調査対象とする場合、CT 値の絶対値よりもその分布のコントラストが重要となる。当所では、密な砂地盤に発達するせん断層が周辺の地盤より間隙比が高い (X 線吸収率が低下した) ゾーンとして認識されることを利用して、1991 年より X 線 CT スキャナーによって各種模型地盤の破壊構造を調べている^{2,3)}。本報告では、著者等が主に X 線 CT スキャナーを活用している横ずれ断層実験以外の適用例の 1 つとしてプレッシャーメータ試験と類似した空洞膨張試験を紹介する。さらに、CT 画像のコントラストからせん断層を認定する手法の精度に関する検討について記す。

2. 空洞膨張試験

空洞膨張によって密な砂地盤に発達するせん断層を観察した。図 1 に示す模型実験装置に外円筒モールドを装着し、気乾燥状態の豊浦標準砂を層厚 1cm 毎にパイプレータで締め固めて地盤を作製した。外径 30cm、高さ 18cm の円柱供試体の中央には、ゴム膜 (厚さ 0.5mm) を巻いた半径 $r_0=2.5\text{cm}$ の円柱を予めセットしておく。模型地盤に 0.1MPa の負圧を載荷した後にモールドを取りはずし、内側のゴム膜内に水を段階的に注入しながら X 線 CT によって模型地盤内部に発達したせん断層を段階的に観察した。図 2 に、空洞圧と空洞膨張量の関係と写真 1 に例示した X 線 CT による観察ステップを示す。空洞壁の変位 u_c と孔壁ひずみ $\epsilon_c (=u_c/r_0)$ は送水量より軸対称平面ひずみ状態を仮定して換算した目安値である。

最大圧 $p_{max}=0.59\text{MPa}$ となったステップ 7 で、左巻きの対数螺旋状で右ずれセンスのせん断層群が孔壁近傍に初めて観察された (注: 渦とずれのセンスは観察する方向に依存する)。ステップ 12 で右巻きで左ずれセンスの共役なせん断層群も出現し、ステップ 14 で模型地盤の外縁にまで顕著なせん断層が発達した。このようにせん断層構造の発達過程が段階的な理由は、ずれセンスの整合性と軸対称条件という 2 つの運動学的に相反する条件の兼ね合いに因ると考えられる。

空洞の形状は、せん断層の先端が孔壁より空洞初期半径以内に留まっているうちはほぼ円孔だが、せん断層に沿うずれ変位が顕著になると不規則な風車状になる。類似した非粘性地盤で行うプレッシャーメータ試験でも同様の (孔壁近傍地盤が破壊してせん断層が形成されるにしたがって、軸対称の変形様式が満足されなくなる) 現象が期待され、連続体的変形を仮定する通常の解析法の限界が示唆される。

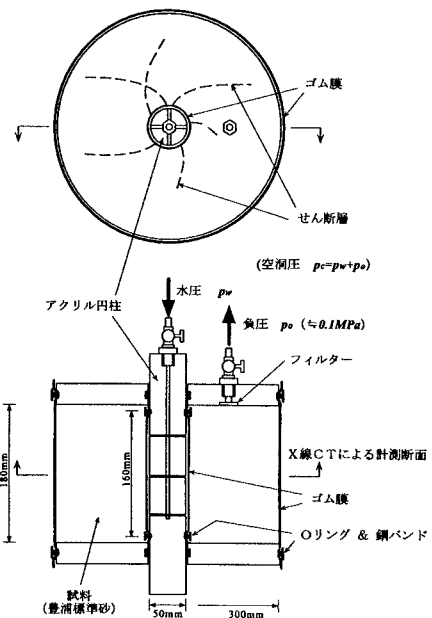


図 1 : 空洞膨張試験の装置

キーワード: X 線 CT、せん断層、砂、模型実験、計測、精度

〒270-11 千葉県我孫子市我孫子 1646, tel: 0471-82-1181, fax: 0471-84-2941

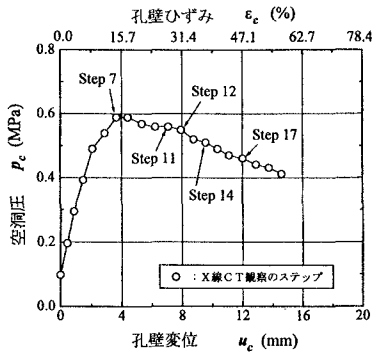


図2：空洞圧～空洞膨張量の関係

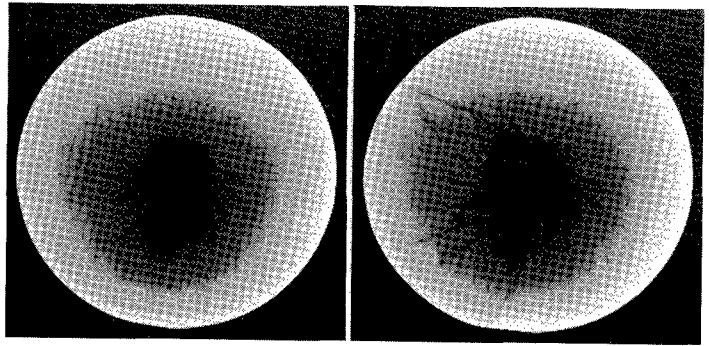


写真1：CT画像の例（左：ステップ11、右：ステップ17）

3. せん断層の確認精度の検討

豊浦標準砂を用いた模型地盤（層厚120mm）に発達するせん断層を確認する手法として、当所で使用している医療用X線CT装置（東芝メディカル製、TCT-700S）がどの程度の能力があるかを検討した。図3に示す装置内に着色した砂層をマーカーとして水平に数条含んだ模型地盤を液状のポリエ

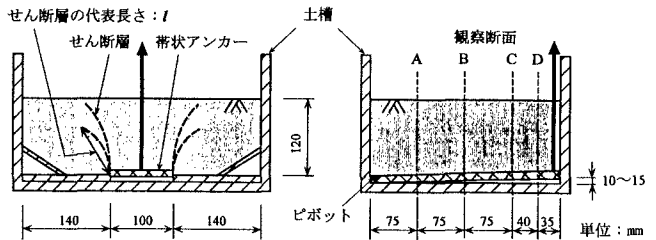


図3：アンカー引き抜き試験装置

ステル樹脂（リゴラック）中に作製し、土槽底面のアンカーを変位させて発達段階の異なるせん断層を生じさせた後に樹脂を固化させた。そして、X線CT観察、厚さ6～9mmの板状に切り出した断面の目視観察、軟X線の透過式撮影、さらに薄片を刷って鏡下観察の4つの計測手法でせん断層を観察した。

試験は3回実施し、合計9断面で各手法によって認定されたせん断層の長さ（図3の l で代表）を図4に比較した。最もシャープにせん断層が観察できたのは軟X線の透過式撮影で、X線CT観察も含めて他の3手法は短いせん断層をやや見落とす傾向（ $l=0\text{mm}$ ）がある。X線CTの場合はアーチファクトが、目視・鏡下観察はせん断層の内部と周辺における間隙量の分布差の判断が客観的でない点が原因と考えられる。ただし、長さが50mm以上のせん断層であれば、せん断層の特定に関しても、その長さに関してもほぼ同程度の観察精度が期待できることが分かる。

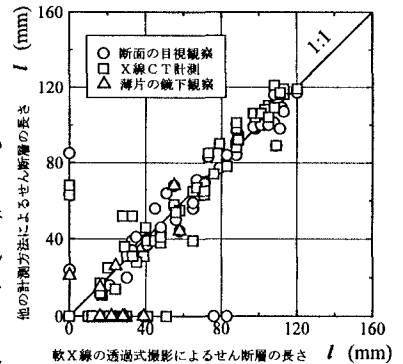


図4：せん断層の確認精度の比較

4. おわりに：密な砂地盤を用いた模型実験で、模型地盤の断面を露出させずにせん断層を任意に観察することが可能なX線CT技術は、実験上の制約条件が付加されるものの、地盤の破壊構造を理解する上で非常に有効である。第3・4世代のスキャン方式を採用した装置でも、せん断層の認定精度に関して、他の手法と比較して遜色ないことが確認できた。検討には杉浦 努氏（ジーエー研）と西 真幸氏（東工大大学院生）、原稿・図面の作成には海老原愛子氏（CRS）にお世話になった。

参考文献：（1）中山栄樹・持田文弘・田中達吉・田中荘一（1995）“地盤物性評価におけるX線CTの利用例”、第26回岩盤力学に関するシンポジウム、土木学会、pp.336～340。（2）谷 和夫・上田圭一（1993）“X線CTを用いた横ずれ断層模型実験”、土木学会第48回年次学術講演会、Ⅲ-677、pp.1408～1409。（3）谷 和夫・上田圭一（1995）“砂地盤内に形成されるせん断層の3次元構造のX線CTによる観察—横ずれ断層模型実験を例として—”、地盤破壊の3次元的评价に関するシンポジウム、地盤工学会、pp.161～168。