

(財)電力中央研究所 正会員 ○谷 和夫
同 上 上田 圭一

1. はじめに: 当所では、地震時の基盤の断層変位による未固結被覆層(第四紀層)の変形機構を解明する目的で、特に基盤の断層から地表面に向かって発達するせん断層に注目して、室内模型実験¹⁾や理論的解析²⁾による検討を試みている。これまで対象としてきた平面ひずみ状態の縦ずれ断層(正・逆断層)では、断層面の走向方向に直交する鉛直断面内で第四紀層内の2次元的変形構造を把握することが可能で、乾燥砂を用いた室内模型実験では、土槽の側壁ガラス面を通して砂層内に発達するせん断層を観察してきた。しかし、断層面の走向方向の変位を有する横ずれや斜めずれ断層の場合、第四紀層内には走向方向に周期的な3次元的変形構造が形成されるため、その全貌を把握するためには地表面も含めた複数の断面内で観察されたせん断層の位置から、その空間的広がり立体的透過イメージを構築する必要がある。一方、被検体の外周から一定の厚さのX線吸収(透過強度)データを収集し、被検体内部の密度(正確には線吸収係数)の空間分布を解析的に求めるX線CT(X-ray Computed Tomography)技術は物体を切断することなく内部構造を観察する計測法として注目を集めており、地盤工学の分野でも使用されるようになってきた^{3,4)}。今回は、小型の横ずれ断層模型実験を実施し、基盤断層の走向と直交する断面で得られたX線CT画像により、水平な基盤の横ずれ断層変位に伴って第四紀層内に形成されるせん断層の3次元的発達過程を観察した結果について報告する。

2. 実験装置、実験方法: 計測に用いた装置は、市販の医療用のX線CTスキャナ((株)日立メディコ、CT-W 450)であるためX線エネルギーが低く、さらに有効視野 $\phi 35\text{cm}$ 、最大搭載重量 1.1kN を考慮して模型土槽の材料(アクリル)と大きさ(内寸法: 幅 25cm 、高さ 15cm 、長さ 170cm)を決定した。底盤にサンドペーパーを貼った土槽は長手方向に中央で2分割され、可動側が送りハンドルにより水平移動することで基盤の横ずれ断層変位を模擬している。土槽両端面の中央分割部分は脱脂綿とメンブレン(厚さ 0.3mm)で被覆して、土槽両端で与えられる一面せん断的なずれ変位を緩衝してせん断面の形成を強制したり、その位置を指定しないように配慮した。模型地盤は厚さ約 1cm 毎に敷き均した空気乾燥の豊浦標準砂をバイブレーターで締固める作業を繰り返して層厚 10cm の密な砂地盤(密度 $\rho_t \approx 1.6\text{g/cm}^3$)を作製した。左横ずれ断層変位 3mm 毎に土槽中央部分 60cm の区間で間隔 2cm 30枚のスキャン(スライス厚 5mm 、スキャン時間 4.5秒)を行い、得られたCT画像(再構成マトリックス 512×512)を医療用X線フィルム(Kodak(株)、EB/R A)に記録した。

3. 結果: 得られたCT画像(図1)には第3世代CT装置(スキャン方式: R/R)特有のアーチファクトが見られるが、ダイレイタンス特性により密度が極端に変化した領域として、砂層内に発達したせん断層が明瞭に識別できる。別途使用した高出力でCT理論により忠実な第2世代(スキャン方式: T/R)の産業用CT装置((株)東芝、TOSCANER-2000)は、空間分解能 $0.5 \sim 1.0\text{mm}$ 、密度分解能 0.01g/cm^3 で、スライス厚を薄く(1mm)して得られた画像では、密な豊浦砂($D_{50} \approx 0.17\text{mm}$)に発達するせん断層はさらに鮮明で、その厚さは $1.7 \sim 2.7\text{mm}$ ($t/D_{50} = 10 \sim 16$)程度であった。今回のスキャン条件ではスライス厚 5mm と厚いためにせん断層の境界がやや不明瞭でその厚さ t も $3.0 \sim 4.0\text{mm}$ 程度と大きめに観察された。左横ずれ断層変位量 $D = 3, 6, 12\text{mm}$ の各段階において、基盤断層の走向に沿って 2cm 間隔で得られた30枚の各CT画像で観察されたせん断層の位置と形状から、土槽中央 60cm の区間で形成されたせん断層の立体的透視図を図2に示す。

①変形初期($D = 3\text{mm}$)には、基盤の断層より上方約 45° の方向に左右対象のせん断層が断層面の走向方向に連続的に発達した。この段階では、余り周期性は認められない。

②さらに変形が進むと($D = 6\text{mm}$)、左右のせん断層はやや高角度になる傾向を見せながら地表面に向かって発達すると同時に、それぞれ、相対的な断層変位の進行方向に互いに乗り上げるセンスの覆瓦構造(imbrication structure)を形成する(模式図3a参照)。

③覆瓦構造が進展するに伴って左右のせん断層が断層上で交互に連結し、断層に沿って鉛直に立てた平面を断層の相対変位の方向に左ネジ(反時計回り)に捻ったせん断層を形成する(模式図3b参照)。そして地表面には、S字型の外縁の中央部が断層直上付近に到達して左横ずれ断層特有の「ミ」型の雁行配列を示すRiedel Shearsが観察される

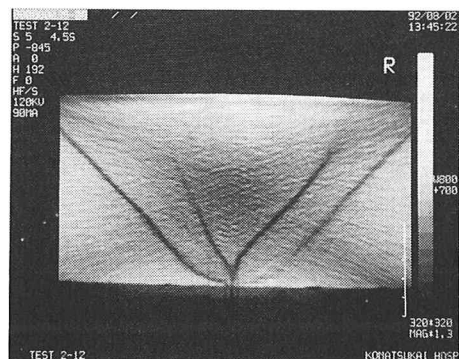


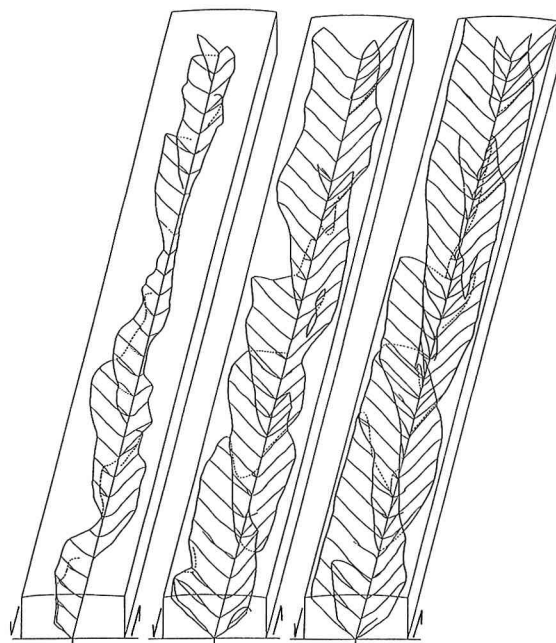
図1: X線CT画像に見られるせん断層

（図4）。

④これ以降、地表面の断層直上には、雁行状の Riedel Shearsの間に断層方向に対して小角度で斜交したスラストせん断（P Shears）、さらにこれらを連結する形で発達する断層方向に平行な主変位せん断が観察された⁵⁾。しかし、断層方向に離散的に得られる各CT画像で観察されるせん断層のパターンが複雑になり、その連続性を判別することが不可能で内部構造は解明できなかった。

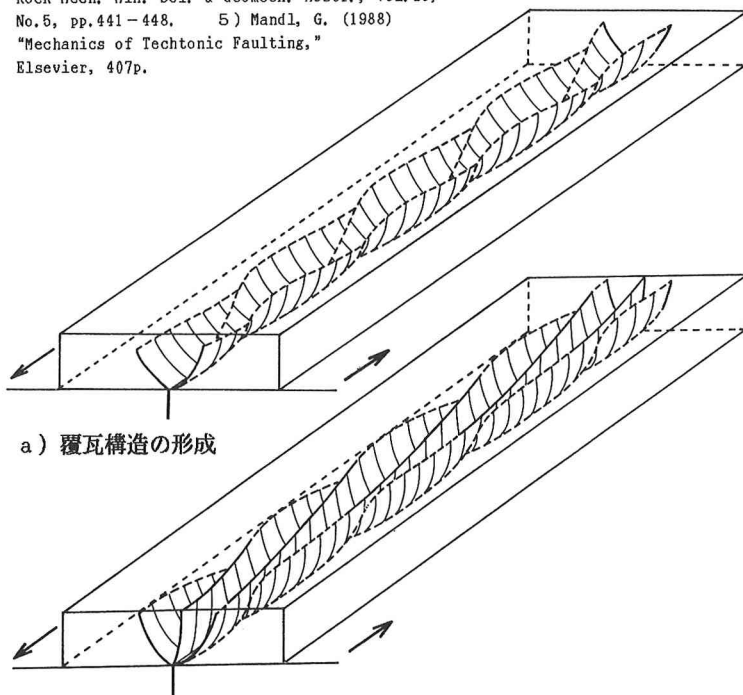
4. まとめ：横ずれ断層模型実験において、X線CT装置を用いて模型地盤内の内部構造を観察することにより、地表面で変形の初期段階に観察されるRiedel Shearsの形成機構が明らかになった。また、X線CT装置の便宜を図っていただいた小松会病院の関係各位ならびに実験を手伝っていただいた鬼塚信弘氏（東洋大学大学院）に感謝致します。

参考文献：1）上田圭一、鬼塚信弘、谷 和夫、田中芳則（1993）“基盤の鉛直断層変位に伴う砂層の変形に及ぼす層厚の影響について、”第27回土質工学研究発表会、2）谷 和夫（1992）“基盤の断層変位に伴う砂層内の不連続面の形状と位置（第2報）、”土木学会第47回年次学術講演会、pp.512-513、3）萩原利率、難波隆夫（1990）“X線CTスキャナーによるフラクチャーコアの分析及び流体流動挙動の数値モデル化、”地下き裂のキャラクタリゼーションワークショップ論文集、pp.30-34、4）Vinegar, H.J., De Waal, J. A. & Wellington, S.L. (1991) "CT Studies of brittle failure in Castlegate Sandstone," Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol.28, No.5, pp.441-448、5）Mandl, G. (1988) "Mechanics of Tectonic Faulting," Elsevier, 407p.



断層変位量：
D = 3 mm D = 6 mm D = 12 mm

図2：左横ずれ断層変位D=3, 6, 12mmで観察されたせん断層



a) 覆瓦構造の形成

b) 地表面にRiedel Shearsの形成

図3：せん断層の発達過程の模式図

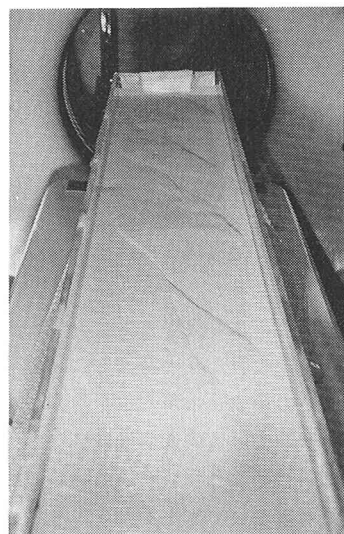


図4：地表面で観察されたRiedel Shears (D=16mm)