

X線CTによるボーリングコアの液状化構造の解析

産業技術総合研究所 正会員 中島 善人

1. はじめに

ボーリングコアは開封・半裁（破壊検査）する前に、3次元非破壊スキャンしてさまざまな情報を取得しておくのが望ましい。X線CT(computed tomography)スキャナーは、試料内部の密度・元素の空間分布を3次元でしかも短時間に非破壊計測できる便利な装置である。今回は、地震で液状化したサイトで得たボーリングコアに医療用CTを適用した例[1-3]を中心に紹介したい。

2. 液状化コアのX線CT

将来の液状化リスク評価のために採取したコアに過去の液状化イベントがあるかどうかを探る時、砂脈の検出は重要である。しかし、砂脈は地層中に局在し、しかも複雑な形状をしているので、コアを半裁した断面にかならず出現する保証はない。また、半裁断面だけではその正確な3次元形状を把握できない。そこで、コア全体を医療用CTでスキャンして（図1）、3次元デジタル画像上で砂脈の形状を解析した。コアは、2011年東日本大震災で被災した利根川下流域から採取したものである。CTのスキャン条件は、加速電圧100kV、スライス厚さ2mm、スライス面内の画素サイズは0.31mmx0.31mmである。

コアの2次元断面画像の一例を図2に示す。半裁した断面のデジタルカメラ写真では、砂脈は不明瞭である。スラブの軟X線写真も、10mmもスラブの厚さがあるので（つまりの紙面方向の空間分解能が10mm）その平均化作用で砂脈の輪郭は不明瞭である。いっぽう、CT画像は図2の紙面方向の空間分解能が0.31mmなので、砂脈の形状が明瞭に確認できる。このようにCTを採用すれば、明瞭に砂脈を検出できる。

次のステップとして、砂脈の3次元形状の構築を考える。これは以外と難度の高い作業である。図2のCT



図1 医療用CTシステムのガントリーユニットの患者ベッドに置かれたボーリングコア試料（長さ1m）[1]。塩ビ管でカバーされたコアが、ウレタンフォームに収納されている。

画像で、肉眼（人間の脳）では砂脈は明らかに確認できる。しかし、画像のグレースケール値の視点では、砂脈の部分が他の部分（葉理が保存されている部分）と際だって差異があるわけではないからである。そこで、画像のセグメンテーションアルゴリズムとして他分野で有効性が確認されているGrowCutアルゴリズムを援用した[2]。それは、画素値と画像上の幾何学距離の2視点で、セルオートマトンのように画像を複数の領域に分画するアルゴリズムである。CT画像にそのアルゴリズムを施して、抽出した砂脈だけを取りだして3次的に積み重ねた結果を図3に示す。砂脈の形状が、地層の不均一構造（砂泥互層。泥層は図2のCT画像では暗く写っている）に支配されて複雑に屈曲している様子が確認できる。

また、図4のような流動化（砂脈ではない）による葉理構造の変形も、液状化の特徴的な痕跡である。こ

キーワード：コア、液状化、非破壊計測、X線CT

連絡先：〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 中央第7 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門

URL: <http://staff.aist.go.jp/nakashima.yoshito/myhome.htm>

の流動化の程度は、震央距離や地盤の剛性などに関係する。したがって、図4の地層の乱れは、丁寧に読み解けばそのサイトの正確な液状化リスク評価に貢献できる重要な情報をもっている。そこで、不均一で乱れたパターンの定量化に有効とされるマルチフラクタル解析を、流動化したコアのCT画像に適用した結果、葉理構造の流動・変形の程度を、含鉄鉱物の空間分布のマルチフラクタルスペクトルの違いとして定量化できた[3]。

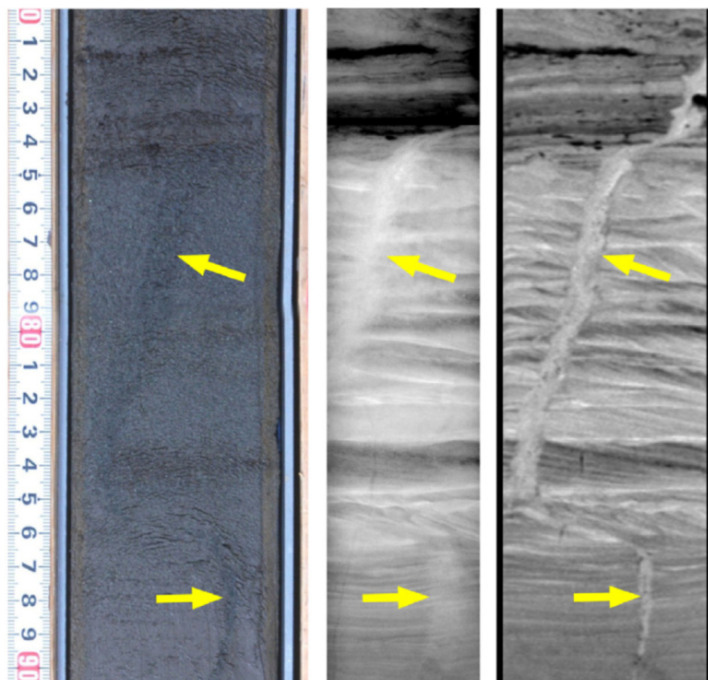


図2 コアの2次元画像の例[1]。黄色の矢印で砂脈を示した。左は、CT撮影後に半裁したコアの写真（スケールの数値は1cm単位）。中央は、スラブの軟X線写真。右は、CT画像。

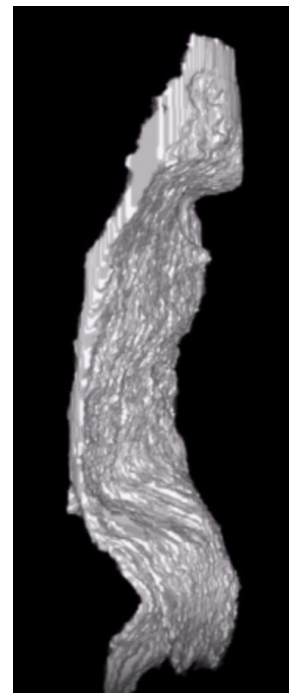
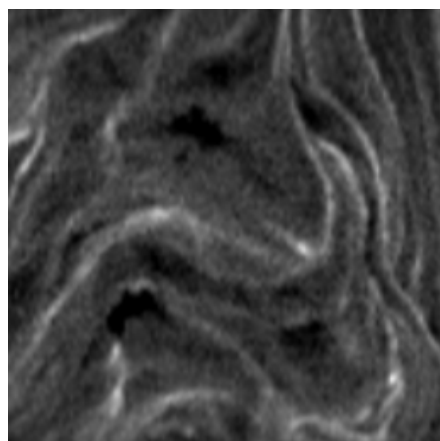


図3 図2のCT画像の砂脈をGrowCutアルゴリズムで3次的に抽出したもの[1]。



3. おわりに

CTが液状化を起こしたコアの非破壊スキャンに有益であることを例証できた。医療用CTは機器操作が簡単で、しかも外部に公開されている施設があるので、今後の土木分野への浸透が期待される。

図4 地震液状化で流動化したボーリングコアの2次元CT画像。画像サイズは5.9cmx5.9cm。特に明るい(白い)画素は、磁鉄鉱など鉄に富む鉱物が濃集している。

参考文献

- [1] Nakashima, Y. and Komatsubara, J. (2016) Seismically induced soft-sediment deformation structures revealed by X-ray computed tomography of boring cores. Tectonophysics, 683, 138–147. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2016.05.044>
- [2] 中島善人 (2017) 画像セグメンテーション用アルゴリズム GrowCut の解説：液状化画像を例題にして。地学雑誌, 126, 785–794. <http://staff.aist.go.jp/nakashima.yoshito/bin/2017jg.pdf>
- [3] Nakashima, Y. and Komatsubara, J. (2018) MULTIFRACTAL ANALYSIS OF SEISMICALLY INDUCED SOFT-SEDIMENT DEFORMATION STRUCTURES IMAGED BY X-RAY COMPUTED TOMOGRAPHY. Fractals, vol. 26, article ID 1850018. <https://doi.org/10.1142/S0218348X18500184>