

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：17401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630221

研究課題名(和文) 2つのX線CT装置のフュージョン化に基づく土質力学の新たな展開

研究課題名(英文) A new challenge on soil mechanics based on the use of two different X-ray CT

研究代表者

大谷 順 (OTANI, Jun)

熊本大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：30203821

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：世界的にも例を見ない産業用X線CTとマイクロフォーカスX線CTを用いて、地盤材料を対象とした数 μm から数百 μm までの比較的広い範囲の微細な現象を観察することで、土の変形・破壊現象の引き金となるひずみの局所化現象解明を試みた。ここでは矢板工の鉛直支持力を対象とし、矢板が貫入される地盤内挙動を2つのCT装置を用いて解明した。これにより、本研究テーマでもある2つの仕様の異なるX線CT装置のフュージョン化を実現することができた。

研究成果の概要(英文)：A localized behavior such as deformation and strength properties of soils was evaluated using two different X-ray CT which are industrial and micro-focus types depending on the resolution and the size of soil specimen. In this study, the model test on the vertically loaded sheet-pile was examined and the soil behavior around sheet-pile was evaluated by using two X-ray CTs. One of the main objectives was to use two different X-ray CT scanners and to investigate both micro and macro behavior of soils.

研究分野：地盤工学

キーワード：土質力学 X線CT ミクロとマクロ現象 矢板の鉛直支持力 土中内部の挙動

1. 研究開始当初の背景

土質力学(または地盤工学)の学問体系は、1943年のTerzaghi以来基本的な内容はあまり変化なく今日に至っていると言える。それは、自然の材料である土の理解の難しさもあるが、より高度な現象解明のための道具が現れなかったとも言える。これに対し、近年申請者はX線CTを地盤工学に適用する研究を立ち上げ、1996年熊本大学に産業用X線CT装置を導入して以来今日までの間、土の基本的性質の解明から実地盤構造物の現象解明まで多くの研究成果を挙げている。本テーマの国際的動向については、申請者が2003年に世界で初めて国際ワークショップ(GeoX2003: J.Otani and Y.Obara, X-ray CT for Geomaterials, Balkema, 2003)をわが国で開催し、その後フランス(2006年:)、米国(2010年3月 New Orleans)、ベルギー(2013年7月 Ghent)において継続され、国際的な研究コミュニティが確立している。近年の動向としては、現象を非破壊かつ3次元的に可視化することに加えて、(1)CT画像を用いた現象の定量的評価、および(2)いくつかの特性が異なるCT装置を同時に用いてマクロ挙動とマイクロ挙動を相互に互換することで微細な現象を解明する、ことが挙げられる。上記(1)についてはすでに取り組みされているが、(2)については現時点においてほとんど着手されていないと言える。申請者は2010年度新たにマイクロフォーカスタイプのX線CT装置を所有しており、2つの特徴の異なるCT装置を用いることで、世界的にも例を見ないマクロな挙動とマイクロ構造の一貫させた考察を実現することは萌芽的研究に値すると思われる。

2. 研究の目的

本研究では、2種類の特性が異なるX線CT装置を用いて、土の力学挙動として代表されるせん断挙動を対象とし、実験下における現

象を逐次CT撮影することにより、微視的現象から比較的マクロな現象までを一連の挙動として把握する。またその結果を基に、微視的な土粒子群の動きや不飽和状態での間隙の移動を解明することで、微視的挙動が土供試体の材料物性にどのように影響するかについて明らかにし、これまでの土質力学の学問体系において新たな情報提供を行うことを目的としている。

3. 研究の方法

本研究は、土中内部を、2種類の解像度が異なるX線CT装置(産業用X線CT装置とマイクロフォーカスCT装置)を用いて解明する。ここでは2つのCT装置の特徴から、数 μm 程度の現象から、せん断帯や圧縮帯のような数百 μm 程度までの現象を一連の挙動として把握する。またこの結果を基に、微視的現象の考察を踏まえた土質パラメータの定量的評価を行う。加えてCT撮影より得られた画像から変位およびひずみを計測するための画像解析を実施することで、最終的には、これまで確認が困難であった土中の微視的現象と、比較的マクロな現象から求められる土質パラメータの定量的評価をめざす、まさに挑戦的萌芽研究であると言える。

4. 研究成果

(1) はじめに

本研究では当初は三軸圧現象を対象に研究を進める予定であったが、これまでの研究成果を鑑み、矢板貫入に伴う土中における周辺地盤のひずみ計測を目的として、模型鋼矢板の貫入実験に2つのX線CT撮影を併用し、模型鋼矢板周辺地盤の非破壊検査を行った。また得られた微小貫入前後のインターバル画像にデジタル画像相関法(Digital Image Correlation: 以下DICと呼ぶ)を適用し、変位場及びひずみ場の計測を行った。ここでは紙面が限られるため、マイクロフォーカスX

線 CT 装置を用いた成果について紹介する。

(2) 実験方法と結果

図 1 に実験装置の概要及び X 線 CT 撮影範囲、図 2 に模型鋼矢板を示す。模型地盤は直径 140mm のアルミ製円筒形土槽に気乾状態の豊浦砂を相対密度 80%程度となるように空中落下法にて作製した。模型鋼矢板はアルミ製で 15mm×15mm のコ字型断面のものを使用した。模型鋼矢板の貫入速度は 10 mm/min と設定し、図 3 に示す 6 地点で CT 撮影を行った。CT 撮影は貫入抵抗曲線における抵抗を發揮し始める地点(60mm : Step A)、模型鋼矢板の変形が始まる地点(80mm)、変形が進行している地点(115mm : Step B)で、2mm の微小貫入の前後で撮影を実施し、インターバル画像を得た。本稿では Step A 及び Step B の結果を報告する。貫入実験後の模型鋼矢板を図 4 に示す。実験前はコ字型断面だった模型鋼矢板が、内側から外側に開いた変形が生じている。また深さ方向には外向きに反る変形が観察できる。

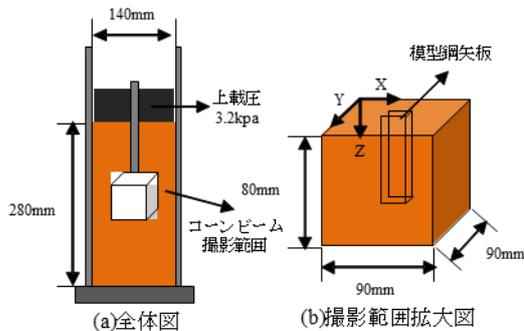


図1 実験装置概要及びμフォーカスX線CT撮影範囲

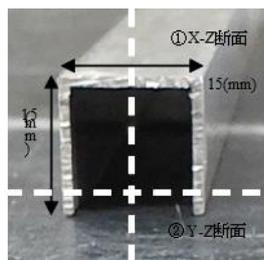


図2 模型鋼矢板

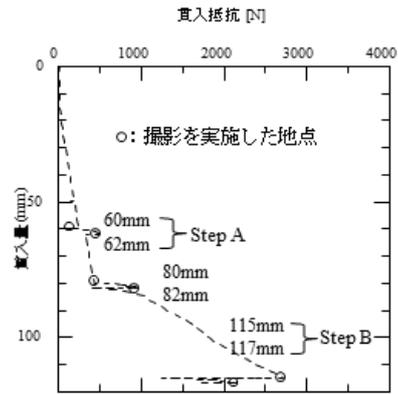


図3 貫入抵抗と撮影箇所

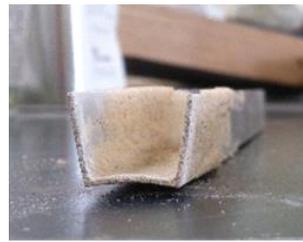


図4 実験後の模型鋼矢板

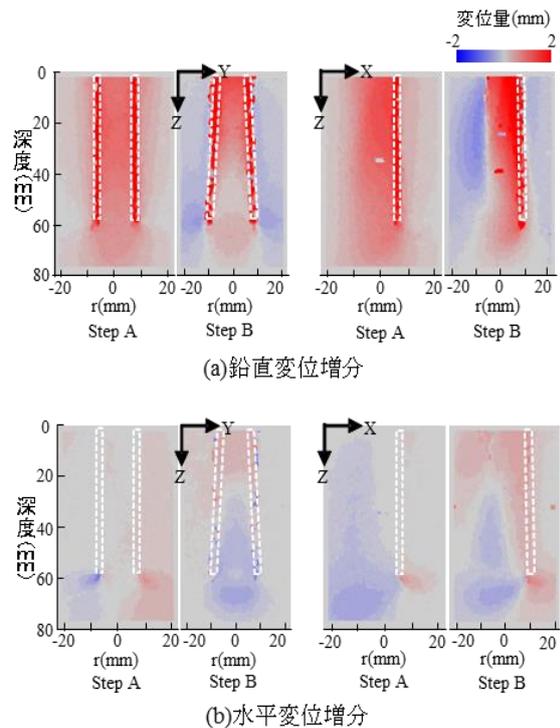


図5 矢板貫入に伴う地盤内変位増分

図 5 に DIC にて算出した矢板貫入に伴う地盤内変位増分を示す。なお 60mm・62mm 間の解析結果を Step A、115mm・117mm 間の Step B として示している。また開き変形に与える影響を検討するために Y-Z 断面を、反り変形に与える影響を検討するために X-Z 断面を示している。Step A では同地点の貫入抵抗

が 400N 程度と応力レベルが低く、矢板先端付近の周辺地盤は強い拘束を受けていない。地盤内変位増分は模型鋼矢板の貫入方向である鉛直下向きが卓越しており、水平成分は模型鋼矢板の先端が土粒子を左右に押しつけるような変位が生じているのが分かる。その変位分布は鉛直変位成分が矢板の閉塞部に加え、杭下 1.5D 程(矢板の幅を 1D とする)に分布しているのに対して、水平変位成分は先端部分のみである。これらから Step A では鉛直方向への一次元的な挙動と言える。Step B では同地点の貫入抵抗が 2800N 程度と応力レベルが高い。地盤内変位増分に関して、矢板の閉塞部は鉛直下向きに移動している点は同様であるが、鋼矢板の閉塞部の外側では、Step A には見られなかった上向きの移動が生じている。図 6, 7 は画像解析で得られた変位分布を基に算出した。せん断ひずみ増分及び体積ひずみ増分である。せん断ひずみは、各 Step に共通して Y-Z 断面では顕著な違いは見られないが、X-Z 断面では矢板裏側の閉塞部の境界に卓越しているのが分かる、同地

点の体積ひずみ分布に関して、Step A では矢板の閉塞部やその外側で一様であったが、Step B では閉塞部の先端から 3D の範囲に 5%ほどの体積ひずみが分布している。Y-Z 断面も同様に Step B の先端から 3D の範囲に円弧状の体積ひずみが分布している。この 5%の体積ひずみは相対密度に換算すると約 20%上昇したことに相当し、非常に大きな膨張圧が矢板の閉塞部に作用していると推察できる。このような体積ひずみが発生した要因は、模型地盤が密な砂地盤であることから、砂のダイレイタンスによる影響と考えられる。以上の結果から地盤内挙動で矢板が変形し、傾斜貫入が生じる現象は、矢板貫入に伴う砂のせん断膨張の影響で、特に先端から 3D の範囲に作用すると言える。

(3) まとめ

模型鋼矢板の貫入実験に X 線 CT 撮影にてインターバル撮影を実施することで矢板貫入に伴う変位場及びひずみ場の計測を行った。各地点のインターバル画像に DIC を適用し、地盤内の変位増分・せん断ひずみ増分・体積ひずみ増分の分布を算出し、鋼矢板の閉塞部分の先端から 3D の範囲にて体積ひずみの発達を確認した。その結果、密な砂地盤にて地盤内挙動で矢板が変形し傾斜貫入が生じる現象は、矢板貫入に伴う砂のせん断膨張の影響であるとの結論を得た。今後は、この測定方法を他の断面形状や表面摩擦の異なる矢板に適用することで、地盤内挙動の影響を抑えた、鉛直に貫入しやすい新たな矢板を提案することができると考えている。

以上より、本研究の目的である 2 つの仕様の異なる X 線 CT 装置を用いて、土の挙動解明について特に矢板工周辺地盤を対象として実施した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

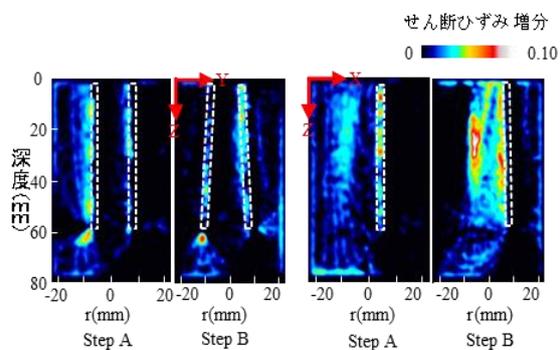


図6 地盤内のせん断ひずみ増分

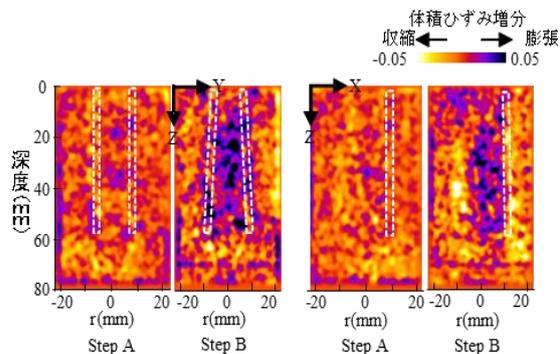


図7 地盤内の体積ひずみ増分

[雑誌論文] (計8件)

- ① Satoshi Taniguchi, Jun Otani & Masayuki Kumagai, A study on characteristics evaluation to control quality of asphalt mixture using X-ray CT, Road Materials and Pavement Design, Volume 15, No. 4, 892-910 2014 査読有
- ② W. M. Yan, T. Shi, T. Mukunoki, T. Sato and J. Otani, Visualization of grain crushing using micro-focused X-ray CT scanning, Proceedings of Geomechanics from Micro to Macro, Cambridge, UK, 1131-1135, (2014) 査読有
- ③ B. Chevalier, J. Otani and T. Mukunoki, Experimental study of trapdoor problem in 3 dimensions with X-ray CT -transition from plane strain to 3D behavior, Proceeding of Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics, Kyoto, Japan 341-346, (2014) 査読有
- ④ D. Takano, B. Chevalier and J. Otani, Experimental and numerical simulation of shear behavior on sand and tire chips, Proceeding of Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics, Kyoto, Japan 1545-1550, (2014) 査読有
- ⑤ 佐藤宇紘, 原田剛男, 岩佐直人, 林 悟史, 大谷 順: スパイラルパイル施工時の回転条件が鉛直支持力に与える影響に関する基礎的検討、地盤工学ジャーナル、Vol. 10, No. 2, 253-265, 2015. 査読有
- ⑥ Daiki Takano, Nicolas Lenoir, Jun Otani, and Stephen A. Hall: Localised deformation in a wide-grained sand under triaxial compression revealed by X-ray tomography and digital image correlation, Soils and Foundations, Vol. 55, No. 4, 906-915, 2015. 査読有
- ⑦ Takahiro Sato, Jun Otani, Bastien

Chevalier and Tugba Eskisa: Effect of shaft rotation of driven spiral piles on vertical bearing capacity, Proc. of 15th Asian Regional Conference, International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, November 9 to 12, Fukuoka, Japan, 1304-1309, 2015. 査読有

- ⑧ T. SATO, K. ONDA, and J. OTANI: Observation of ground displacement field around the driven open-section piles, Proc. of 2nd International Conference on Tomography of Materials and Structures, June 29-July 3, Quebec, 537-541, 2015. 査読有

[学会発表] (計1件)

- ① 古賀快尚、佐藤宇紘、大谷 順、恩田邦彦、鋼矢板貫入に伴う周辺地盤のひずみ計測、平成27年度土木学会西部支部研究発表会、327-328, 2016.

[図書] (計1件)

- ① 古賀快尚、施工性に優れた鋼矢板工の提案に関する研究、平成27年度熊本大学大学院自然科学研究科博士前期課程修士論文.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大谷 順 (OTANI, Jun)

熊本大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号: 30203821