

博士論文審査の結果の要旨

氏名	増岡 健太郎
学位名	博士（工学）
学位番号	甲 第 749 号
論文題目	X 線 CT を用いた琉球石灰岩帯水層中の塩水淡水置換挙動評価のモデル化に関する研究
論文審査委員	主査 中屋 眞司 吉谷 純一 梅崎 健夫 河村 隆 徳永 朋祥 （東京大学）

（博士論文審査の結果の要旨）

学位論文の内容について、5名の審査員によって、1月6日～1月22日の間、次のような項目に対し、審査を行った。

- 1) 論文の独創性
- 2) 研究テーマの学術的意義
- 3) 構成の体系性
- 4) 研究方法の適切性
- 5) 先行研究の取扱いの適切性
- 6) 論旨の明確性・一貫性
- 7) 論文の完成度

海域に囲まれた亜熱帯から熱帯にある石灰岩から成る島嶼では、河川が発達せず、地下淡水資源がレンズ状の薄い領域（淡水レンズ）に限られ、水資源（地下水）不足に陥っている。さらに地球温暖化の進行によって淡水レンズの縮小が懸念される状況下にある。このような島嶼の水源開発として、日本では、奄美列島から琉球諸島の地下帯水層を形成する琉球石灰岩という大小さまざまな空隙を有する多孔質な石灰岩層に、薄い壁で閉じた円筒状の地下ダム（フローティング地下ダムと呼ぶ）を形成し、地下石灰岩層の空隙に降雨を貯めることによる淡水リザーバーの拡大が考えられている。フローティング地下ダムの淡水リザーバーでは地下石灰岩層の空隙の海水が降雨起源の淡水に置き換わり、その後、揚水によって淡水をくみ上げ水資源として利用することが期待されている。

本論文は、この淡水リザーバーを将来、島嶼を形成する多孔質の石灰岩層に形成するときの水理科学的課題の解決となる基礎研究をテーマとしている。その点で課題解決型の研究であり、学術的な意義がある。本論文の独創性として、1)日本の亜熱帯にある島嶼のリザーバーとなる琉球石灰岩帯水層は、間隙が不均質で大きさ分布が幅広いため、海水で占められていた間隙が淡水に置き換わる際、遅延が大きく、また、置き換わらないまま塩水が長期にわたって残留するメカニズムを室内浸透実験に X 線 CT スキャン法を併用して目に見えない石灰岩の中の塩水の流れを可視化することによって明らかにした点、2)この塩水・淡水境界で起こる水の浸透挙動や石灰岩の溶解挙動は、琉球石灰岩の間隙構造の不均質性に大きく支配される。そこで、X線CTスキャン法を使って間隙構造を可視化し、間隙体積分布と間隙表面積分布、間隙のつながりなどの不均質性が広いレンジでフラクタル構造を有していることを突き止めた点、3)琉球石灰岩の不均質な間隙構造を持つ数値解析モデルに多孔質媒体モデルを採用するため、ナビエ・ストークス方程式による流体解析を行う「ポアスケールモデリング」と連続体モデルを組み合わせる透水係数など水理定数分布を決定する新しいモデル化法を新たに開発した点、が挙げられる。研究方法に、空隙構造を明らかにするため X 線 CT スキャン法を駆使している点、塩水・淡水境界の浸透挙動を観察するためにヨウ化カリウムで満たした石灰岩に淡水を通水しながら X 線 CT スキャンを実施している点、また、数値解析法も新たに開発している点、適切である。しかし、間隙がフラクタル性を

有していることから、研究で得られた成果を実スケールに拡張できる可能性を示唆している点は有用であるが、実スケールに適用するには多くの課題が残されている点を明らかにした点も評価できる。論文構成の体系性、先行研究の取扱いの適切性、論旨の明確性・一貫性、論文の完成度については、学位論文として十分そのレベルに達している。以上から、本論文は博士の学位論文に値するものであると評価される。

(公表主要論文名)

論文発表 (1) (レフェリー制のある学術雑誌)

- 1) Masuoka, K., Nakaya, S. Pore Structure Evaluation of Quaternary Highly Vuggy Limestone by a Combination of X-ray CT Images of Differently Sized Cores. *Rock Mech Rock Eng* (2021).
<https://doi.org/10.1007/s00603-020-02352-4>.
- 2) Shinji Nakaya, Jun Yasumoto, Phan Min Ha, Hideto Aoki, Fumiya Kohara, Harue Masuda, Kentaroh Masuoka, Hydrochemical behaviour of an underground dammed limestone aquifer in the subtropics, *Hydrological Processes*, 32(23), 3529-3546 (2018).
- 3) 増岡健太郎, マイクロフォーカス X 線 CT を用いた琉球石灰岩中の塩分濃度変化に関する実験的研究, 土木学会論文集 C (地圏工学), 第 72 巻, 2 号, 136 頁~148 頁 (2016) .

論文発表 (2) (レフェリー制のある国際会議議事録)

- 1) Kentaro Masuoka, Shinji Nakaya, Characteristics of Pore Volume and Pore Surface Area in Vuggy Limestone, “Ryukyu-Limestone”, by X-Ray CT Images in Different Resolutions, 5 YSRM-2019-107 ISRM Conference Paper (2019. 12)
- 2) Kentaro Masuoka, An innovative method to keep enough underground freshwater in an atoll island with the use of floating underground dams, The Seventh Asian Young Geotechnical Engineers Conference (7AYGEC) (2012. 9.)