

X線CTを用いた琉球石灰岩における塩水排除挙動の可視化

大成建設株式会社 正会員 ○増岡 健太郎
 大成建設株式会社 正会員 山本 肇

1. はじめに

環礁島における淡水資源確保技術として、農林水産省と沖縄総合事務局により、フローティング型地下ダムが考案されている¹⁾。フローティング型地下ダムでは、図-1に示すように、止水壁を環礁島の帯水層の途中まで、周状に閉合するように建設する。その結果、地下水(淡水)の海への流出は止水壁によって抑制され、降雨起源の浸透水が、塩水(海水)で飽和された帯水層の上側から、塩水を置換しながら、塩水上に浮かんだ状態で貯留される。しかしながら、著者らが実施した室内カラム試験結果²⁾によれば、琉球石灰岩は複雑な空隙構造を有することから、空隙内の塩水を淡水で置換し、空隙内の水の塩分濃度が飲用レベルに低下するまでに長時間(細屑性試料(コーラルサンド)の5倍以上)を要することが確認されており、ダム貯留水の利用計画に影響を与える可能性がある。本研究では、非破壊で供試体内部の様子が可視化できるマイクロフォーカス型X線CTを用い、琉球石灰岩における塩水排除挙動のメカニズムについて検証した。

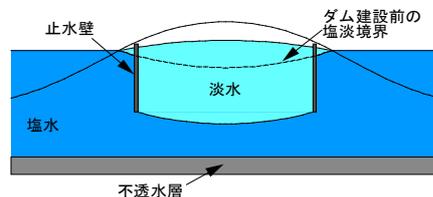


図-1 フローティング型地下ダム

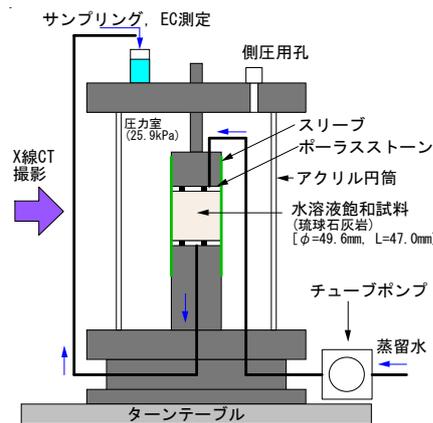


図-2 試験装置概要

2. マイクロフォーカス型X線CTを用いた塩淡水置換試験

試験装置の概要を図-2に示す。本試験は、マイクロフォーカス型X線CT((独) 港湾空港技術研究所保有)³⁾を用い、CT装置内で使用可能な三軸透水試験装置を用いて実施した。供試体には、沖縄県伊江島で採取した琉球石灰岩を円柱状に整形したもの(直径49.6mm、長さ47.0mm)を用いた。供試体の基本物性を表-1に示す。

試験手順として、はじめに、蒸留水を用いて十分に洗浄した供試体を炉乾燥し、真空容器内でヨウ化カリウム水溶液(比重約1.53g/cm³)に浸漬して供試体内部を水溶液で飽和させた。約2週間後、水溶液から供試体を取り出し、デシケーター内に水を張って乾燥を防止した状態で供試体を静置し、約2日後に湿潤重量を測定した。そして、空隙体積から保水体積(=(湿潤重量-乾燥重量)/水溶液比重)を引いて重力排水量を計算し、有効空隙率を求めた⁴⁾(表-1)。その後、供試体を試験装置にセットし、チューブポンプ(アトー製、ペリスタポンプ SJ-1220)によりヨウ化カリウム水溶液を約0.2mL/minの流量で、供試体下側から通水させて供試体内および配管内を飽和させた。飽和終了後ポンプを一旦停止し、送液供給元の配管を蒸留水に切り替え、供試体上側から蒸留水を0.34mL/minの流量で通水させて試験を開始した。試験では、約30分間隔で排水を採取し、イオンクロマトグラフにより排水中のカリウムイオン濃度を調べた。試験中は、X線CTにより供試体内部の撮影を定期的に行った。なお、X線CT装置のX線発生条件は200kV、400μAで、水平方向の撮影解像度は約65μm/pixel、スライス厚は65μmである。三軸セル内の圧力は約26kPaとした。

表-1 供試体基本物性

項目	値
直径 [cm]	4.96
高さ [cm]	4.70
乾燥重量 [g]	204.04
湿潤重量(水溶液) [g]	217.59
空隙率 [%]	16.4
有効空隙率 [%]	6.6

3. 試験結果および考察

(1) 排水中のカリウムイオン濃度の経時変化

排水中のカリウムイオンの初期濃度に対する相対濃度変化を図-3に示す。ここで、PVとはポアボリユームの略で、排水量を供試体の空隙体積で除した値である。また、PVが負であるのは、給排水側における継手とチューブの体積

キーワード フローティング型地下ダム, X線CT, 残留塩分, 琉球石灰岩, 淡水レンズ

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設(株)技術センター TEL045-814-7237

(約 18cm³) による補正のためである。グラフのように、相対濃度は通水初期に大きく低減するが、その後の低減傾向は緩やかになり、別途実施した細層性試料(コーラルサンド)の場合²⁾とは明らかに異なる。収支計算から、試験終了時点において供試体内部に残留したカリウムの量を見積もると約 600mg となり、これは初期に飽和したヨウ化カリウム水溶液に換算して約 3.5cm³に相当する。

(2) X線 CT による空隙内濃度分布の変化

X線 CT による上端面から約 18mm における絶乾供試体の水平断面画像を図-4に、ほぼ同じ位置における試験開始前後の水平断面画像を図-5(a), (b)に示す。本試験で用いた X線 CT 装置では、グレーレベル(以下 GL 値)と呼ばれる X線の吸収率を示す値がボクセル毎に求まり、ここでは、供試体基質部分で 42,000 程度、ヨウ化カリウム水溶液部分で 47,000 程度が得られた。図-4 で黒く写っている箇所は空隙を表し、琉球石灰岩が大小様々な大きさの空隙で構成されていることが分かる。一方、図-5 で白く写っている箇所はヨウ化カリウム水溶液で満たされた空隙を表している。(a)と(b)を比較すると、試験開始時にヨウ化カリウム水溶液で満たされていた空隙が、通水によって水で置換される(黒くなる)ことが分かる。ただし、図-5 の赤丸で示した箇所などは、試験終了時も白い箇所が確認でき、ヨウ化カリウム水溶液が、デッドエンドポアと呼ばれる水理的に孤立した空隙内に残留していると思われる。なお、通水前後の CT 画像の差分から、GL 値が 5,000 以上変化した要素、すなわち水で置換されたと考えられる部分の体積は約 5.2 cm³となり、残留したと考えられるヨウ化カリウム水溶液の量は約 3.7cm³と計算され、前述した排水濃度から計算した残留水溶液の体積(3.5 cm³)と同程度となった。

4. まとめ

コアスケールの琉球石灰岩において、塩淡水置換試験を行うと、空隙内の水の濃度低下に長時間を要する。今回、そのメカニズムについて確認するために、マイクロフォーカス型 X線 CT を用いて、岩石コア内のヨウ化カリウム水溶液を蒸留水で置換する過程を可視化した。その結果、デッドエンドポアに残留した水溶液が、空隙内の濃度低下の遅延に大きな影響を与えているものと考えられる。今後は、三次元空隙構造の不連続性を反映したモデルによる物質移行解析等を行ない、濃度低下の遅延と空隙構造の関連性を明らかにするとともに、フローティング型地下ダムの実現に向けた実スケールでの塩分残留性の評価手法について検討していく。

謝辞

(独)港湾空港技術研究所保有の X線 CT 装置による供試体の撮影に際して、同研究所の水谷崇亮氏と平井壮氏には、懇切な御協力ならびに御助言を頂いた。両氏へは厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 農林水産省, 内閣府沖縄総合事務局: 淡水レンズを活用した水源開発を目指して, 「淡水レンズ開発調査」「淡水レンズ強化技術実証調査」調査成果の概要, 2008
- 2) 増岡健太郎: 琉球石灰岩の残留塩分に関する実験的研究, 日本地下水学会 2011 年秋季講演会講演要旨, pp.134-137, 2011
- 3) 菊池喜昭, 水谷崇亮, 永留健, 昌俊郎: マイクロフォーカス X線 CT スキャナの地盤工学への適用性の検討, 港湾空港技術研究所資料, No. 1125, 2006
- 4) 宮城調勝, 小宮康明: 琉球石灰岩の有効空隙率と圧縮強度, 琉球大学農学部学術報告, 50, pp131-135, 2003

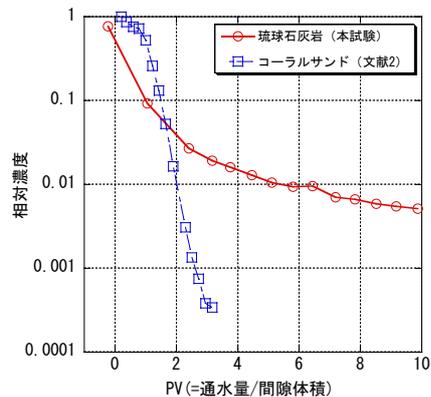


図-3 排水中の相対濃度変化(K⁺)

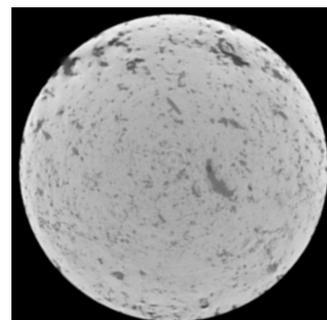
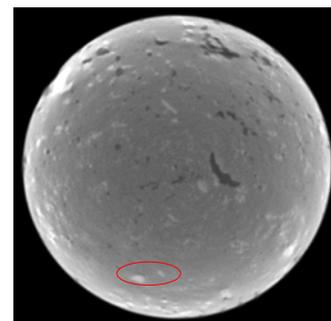
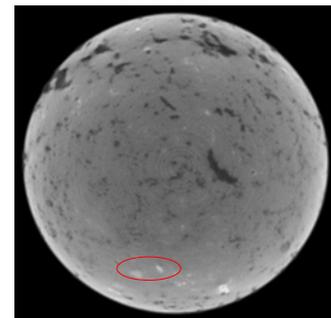


図-4 絶乾状態の供試体 X線 CT 画像



(a) 試験開始時 (PV=0)



(b) 試験終了時 (PV=9.3)

図-5 試験実施前後の X線 CT 画像