

X線CTを用いた吸水過程におけるベントナイトの膨潤特性

新潟大学 非会員 ○中島颯人 新潟大学 正会員 金澤伸一
新潟大学 学生会員 鈴木梨恵 新潟大学 学生会員 飯田輝良

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の処分方法として地層処分が選定されており、ガラス固化した廃棄体と岩盤との間を充填する緩衝材として吸水膨潤性能を有している粘土鉱物であるベントナイトの使用が検討されている。緩衝材に要求される性能の中で、自己シール性や応力緩衝効果などを評価する指標の1つとして、膨潤圧は重要な材料特性であり、ベントナイトの膨潤特性を把握するために、膨潤圧試験等によって、その特性の把握が行われている¹⁾。膨潤圧試験で計測される膨潤圧は単調に増加する場合や、一度増加したのちに減少する場合など様々であり、供試体内部で生じる変形挙動が微小であるため、吸水過程における膨潤圧の変化と供試体内部の含水状態等の関係が不鮮明であり、膨潤挙動のメカニズムが明らかになっていないのが現状である。

そこで本研究では、非破壊により内部の状態を逐次観測することが可能なX線CT測定装置により、連続的な数値データを取得し、吸水過程における膨潤圧の変化と供試体内部の湿潤密度および含水状態の変遷を把握することで、吸水膨潤過程におけるベントナイトの内部機構について実験的に検討を行った。

2. 試験条件・方法

1) 試験試料

試験試料は国内産ベントナイトとして、クニゲル V1（クニミネ工業製）と珪砂 8 号を 7 : 3 の割合で混合したものを使用した。

2) 検量線作成

X線CT測定により得られるCT値は、物体のX線吸収の程度を示す数値であり、ベントナイトの湿潤密度と相関関係があることが知られている²⁾。本研究では、CT値と湿潤密度との関係の他に、新たに含水比にも着目し、含水比を変化させた複数のベントナイト供試体を作製した後に、随時X線CT測定を行い、供試体両端面を除いた各断面の平均値を供試体の代表値として、最小二乗法によりCT値と湿潤密度および含水比の回帰直線を作成した。図-1, 2 に、クニゲル V1 のCT値と湿潤密度、含水比との関係を示す。なお、X線CT測定には医療用X線CTスキャナであるキャノンメディカルシステムズ株式会社製 Alexion を用いた。

3) 試験方法

膨潤圧試験に用いる供試体は、初期含水比は約 7.9%、目標乾燥密度 1.6(Mg/m³)、試験溶液はイオン交換水、供試体寸法は高さ 10mm、直径 20mm とした。所定の乾燥密度となるように圧縮成型した供試体を膨潤圧試験装置に入れて浸潤を開始し、膨潤圧を測定しながら逐次X線CT測定を行った。測定条件は、管電圧 135kV、管電流 100mA、スキャン速度 1.0s とした。試験期間は 1 週間程度とし、CT測定により得られたCT値から湿潤密度及び含水比への変換を行った。

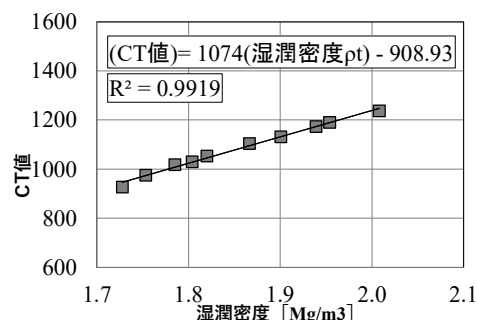


図-1 CT値と湿潤密度の関係

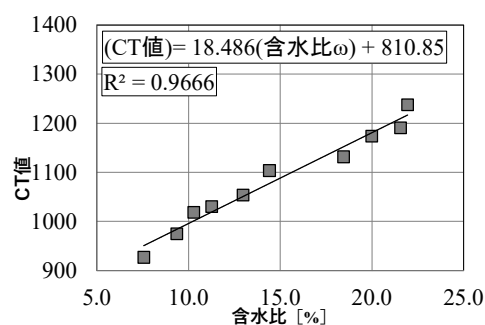


図-2 CT値と含水比の関係

3. 実験結果

図-3に膨潤圧試験により得られた膨潤圧の経時変化を示す。膨潤圧は、比較的初期に500kPa程度まで大きく増加した後に200kPa～300kPa程度まで低下し、500kPa程度まで再度増加している。図-4に湿潤密度分布の経時変化、図-5に含水比分布の経時変化を示す。浸潤開始後から時間の経過とともに、吸水面近傍から徐々に含水比が大きくなり、湿潤密度も徐々に大きくなっていることが確認された。浸潤開始直後において、供試体内部で吸水膨潤が起ることによって、初期に膨潤圧が増加したと考えられる。また、膨潤圧が低下する期間(24h～48h)では、吸水面付近において湿潤密度が低下していることが確認された。含水比に着目すると、吸水面付近はほぼ飽和状態であり、湿潤密度低下の原因として体積膨潤が挙げられる。膨潤圧試験では、体積一定としているため、吸水面とその反対側の領域では逆の変形が生じており、吸水圧縮挙動であるコラプスが生じることで膨潤圧が低下したと考えられる。吸水開始72時間後では供試体全体がほぼ飽和状態に至っていることが確認でき、これは図-3に示した膨潤圧の経時変化において、平衡膨潤圧に到達し始める時間とほぼ同じ時間である。コラプスによる吸水面付近の反対側の領域で体積圧縮後、再度吸水により、吸水膨潤が発生し、その後は平衡膨潤圧へと遷移したと考える。試験終了後に炉乾燥によって供試体全体の飽和度を求めた結果、試験終了時の飽和度は約134%であり、この飽和度を含水比に変換すると約33%であった。また、図-4に示した含水比分布における試験終了時である試験開始192時間後にX線CT測定により求めた供試体の含水比は約24%であった。実測の飽和度が100%以上になった要因としては、供試体周辺に付着した水分を含水比測定時に加算したことが影響していると考えられる。

4. おわりに

本研究では、X線CT測定により、連続的な数値データを取得することで、膨潤圧の経時変化と供試体内部の状態変遷を明らかにすることを目的とした。その結果、膨潤圧が低下する期間では、浸潤面付近で湿潤密度の低下が生じており、これらから、コラプスによる体積圧縮が生じることが確認できた。今後は他の国内産ベントナイトにおいても同様の試験を行い、試料ごとに着目した膨潤特性の把握を試みる。また、吸水させる水の温度を変化させることで、不飽和から飽和に至る過程での湿潤密度および含水比分布の変遷を比較し、詳細な膨潤特性の把握を行っていく。

5. 参考文献

- 1) 小峰秀雄, 緒方啓英:砂・ベントナイト混合材料および各種ベントナイトの膨潤特性, 土木学会論文集, No.701/III-58, pp.373-385, 2002.
- 2) Tanai, K. and Yamamoto, M.: Experimental and Modeling Studies on Gas Migration in Kanigel V1 Bentonite, JNC TN8400 2003-024, 2003.

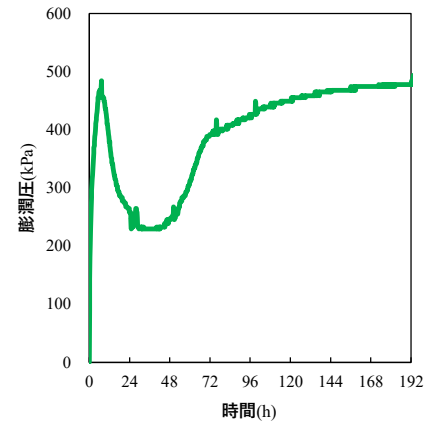


図-3 膨潤圧の経時変化

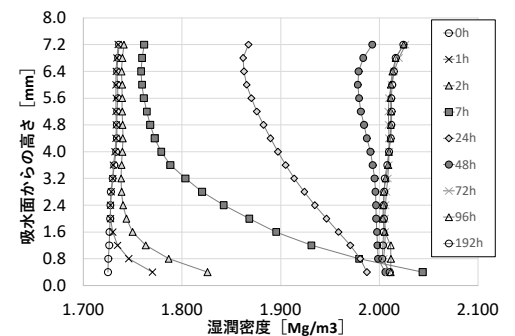


図-4 湿潤密度分布の経時変化

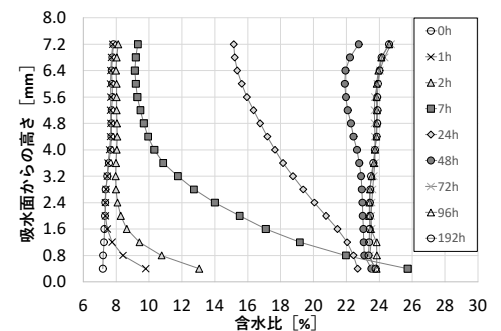


図-5 含水比分布の経時変化