

# 各飽和度条件下におけるベントナイトの吸水圧縮挙動メカニズムに関する検討

新潟大学 学生会員 ○中島颯人 新潟大学 正会員 金澤伸一  
新潟大学 学生会員 飯田輝良 新潟大学 非会員 劉子濠

## 1. はじめに

現在、我が国において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いる。地層処分においてガラス固化した廃棄体と岩盤との間を充填する緩衝材に、著しい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示標の1つとして挙げられる膨潤圧は重要な材料特性である。これまでベントナイトの膨潤特性を把握するために、多くの膨潤圧試験が行われている。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、一度増加した後に減少し再び増加する場合など様々である。膨潤圧試験中にベントナイトの供試体内部で生じる変形挙動は微小であり、供試体内部の状態変遷を把握することは困難であるが、高山ら<sup>1)</sup>によって低飽和度条件下での膨潤挙動メカニズムについて明らかにされている。しかしながら、高飽和度条件下での膨潤圧挙動メカニズムの検討は不十分であるのが現状である。

そこで本研究では、複数の異なる初期飽和度の供試体を用いて膨潤圧試験を実施した。また、膨潤圧試験中にX線CT測定によって、連続的な数値データを取得することで、吸水膨潤過程における膨潤圧の変化と供試体内部の湿潤密度変遷の関係の把握を試みた。それを比較することによって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。天然ナトリウム型ベントナイトであるクニゲルV1は放射性廃棄物処分において、最も適した特性を持っていると考えられ、国内外の研究機関で数多くの試験、研究に用いられている。乾燥密度 $1.6\text{Mg/m}^3$ は緩衝材仕様として考えられているベントナイトと同等となるように設定したものである。

### 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の間に相関関係があることが知られている<sup>2)</sup>。本研究では、CT値と湿潤密度との関係を把握するため、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値と湿潤密度の回帰直線を作成した。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

試験ケースを表-1に示す。膨潤圧試験に用いる供試体は、目標乾燥密度 $1.6(\text{Mg/m}^3)$ 、試験溶液は常温である $26^\circ\text{C}$ のイオン交換水、供試体寸法は高さ10mm、直径20mmとした。自然含水比のベントナイトに霧吹きとミキサーを用いて試験試料の飽和度の調整を行った後、粉末状のベントナイトを圧縮成型治具内に所定の量を投入し、所定の乾燥密度となるように締め固めて供試体を作成した。その後、圧縮成型治具から取り出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。なお、膨潤圧試験において、供試体作成時にピストンに接していた圧縮面とは逆側の面から給水を行った。X線CT測定の測定条件は、管電圧135kV、管電流100mA、スキャン速度1.0sとした。試験期間はベントナイトの膨潤圧試験において、膨潤圧が平衡膨潤圧へと到達する期間である1週間程度とし、CT測定で得られたCT値と検量線から湿潤密度への変換を行い、供試体内部の湿潤密度変遷の把握を図った。

表-1 試験ケース

試験ケース	初期含水比(%)	乾燥密度(Mg/m <sup>3</sup> )	初期飽和度(%)
CASE1	7.899	1.6	32.126
CASE2	17.041	1.6	69.311

### 3. 実験結果

図-1に膨潤圧試験により得られた膨潤圧の経時変化を示す。CASE1は初期に膨潤圧が大きく増加した後、一時的に膨潤圧が低下し、再度増加している。CASE2は初期に膨潤圧が増加した後、緩やかに増加する期間を経て、再び増加している。このことから初期飽和度の違いによって膨潤圧の経時変化のパターンが異なることがわかる。最終的な平衡膨潤圧は450~600kPaであった。また、膨潤圧が一定の周期で一時的に大きく変動していることが確認できる。膨潤圧が大きく変動する時間はX線CT測定を行う時間と一致しており、X線CT測定を行うために、膨潤圧試験機一式を測定台に移動させる際に生じる揺れによるものであると考えられる。

図-2, 3に供試体高さごとによる湿潤密度の経時変化を示す。浸潤開始後から時間の経過とともに、浸潤面付近から徐々に湿潤密度が大きくなることから、浸潤開始直後において浸潤面付近で吸水膨潤が起ることで、初期に膨潤圧が増加したと考えられる。CASE1において膨潤圧が低下する期間では、吸水面付近の湿潤密度が低下していることが確認できる。膨潤圧試験では常に水を供給していることから、飽和度が低下することは考えにくいため、湿潤密度が低下していると考えられる。湿潤密度低下の要因として、浸潤面付近の体積膨張が挙げられる。膨潤圧試験では、供試体の体積を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、つまり吸水圧縮挙動であるコラプスが発生し、それによって浸潤面付近の湿潤密度が低下し、膨潤圧が低下したと考えられる。その後、再度吸水により、吸水膨潤が発生し、平衡膨潤圧へと遷移したと考える。CASE2においては、浸潤面付近の湿潤密度の大幅な低下は確認できず、供試体内部の不飽和領域での吸水圧縮挙動が微小であることが示唆される。よって吸水圧縮挙動が微小であったため、膨潤圧が低下することなく、緩やかに増加したと考えられる。

また、給水開始から約72時間後においては、CASE1, CASE2の両者ともに供試体全体の湿潤密度に変化が見られないことが確認できる。これは図-1に示した膨潤圧の経時変化において、膨潤圧の増加が緩やかになり、平衡膨潤圧に到達し始める時間と概ね一致している。

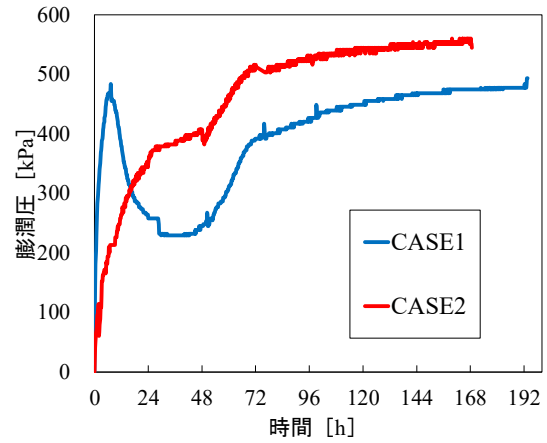


図-1 膨潤圧の経時変化

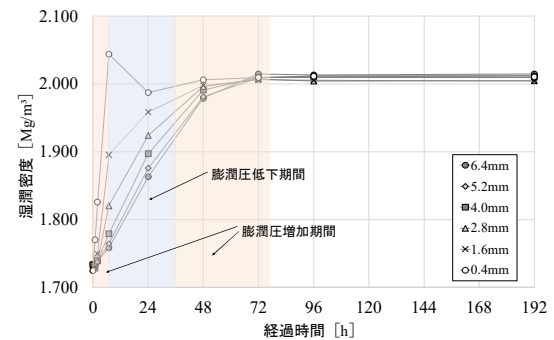


図-2 湿潤密度の経時変化 (CASE1)

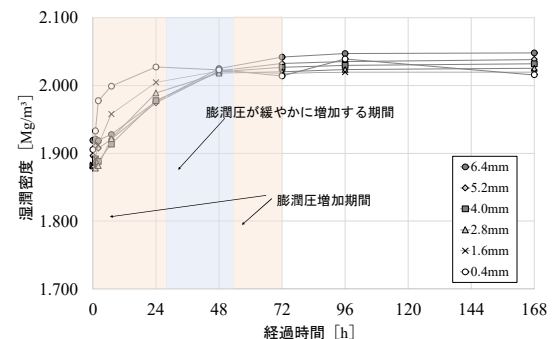


図-3 湿潤密度の経時変化 (CASE2)

### 4. おわりに

本研究では、初期飽和度の違いによる膨潤圧挙動メカニズムの解明を試みた。今後は、給水温度が膨潤圧挙動に与える影響の解明を行う。

### 5. 参考文献

- 1) 高山裕介, 菊池広人: X線CT測定による膨潤圧試験中のベントナイトの吸水圧縮挙動の観察, 土木学会論文集C (地圏工学) 77 (3), pp.302-313, 2021.
- 2) Tanai, K. and Yamamoto, M.: Experimental and Modeling Studies on Gas Migration in Kanigel V1 Bentonite, JNC TN8400 2003-024, 2003.