

締固めた粉体状ベントナイトの吸水に伴う鉛直方向および側方の発生応力

早稲田大学 学生会員 ○市川 雄太, 正会員 小峯 秀雄
早稲田大学 フェロー会員 後藤 茂, 非会員 王 海龍
戸田建設 正会員 関口 高志, 正会員 北原 慎也

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、緩衝材の材料としてベントナイトの利用が検討されており、その膨潤圧に関する研究が進められている¹⁾。しかし、既往の研究の多くは鉛直方向の発生応力のみを測定しており、側方の応力を測定していない。そこで本研究では、次の2段階で鉛直・側方の発生応力を同時に測定した。1段階目は、供試体作製時に与えた鉛直圧とそれに伴う側方の発生応力であり、2段階目は供試体の吸水に伴う両方向の発生応力である。以下に具体的な実験方法・結果を述べる。

2. 供試体作製方法および鉛直・側方の発生応力の測定方法

表1に本研究で用いたベントナイトの基本的性質²⁾を示す。供試体は、最大容量20000 kPa、最小目盛5.4 kPaの土圧計が組み込まれた内径60 mmのリングに作製した。土圧計は、リング下から15 mmの位置に3か所組み込まれている。以下に、静的締固めによる供試体作製の概要を述べる。まず、図1に示す静的締固め装置のテーブルに土圧計付きリングを設置し、自然含水比7.3 %の試料を投入した。次に、試料の上にピストンを設置した。そして、油圧ジャッキによる締固めとロードセル（最大容量200 kN、最小目盛0.0667 kN）および土圧計の測定を開始し、15分間ほぼ一定の鉛直圧を与えた。完成した供試体は、直径60 mm、高さ30.5 mmであった。

その後、供試体を図2に示す膨潤特性試験装置に設置した。本装置は、ベントナイト供試体の変形を抑止した状態で供試体下端から蒸留水を供給し、その際に発生する応力を測定するものである。図2中の下部給水口と二重管ビュレットをシンプレックスチューブで連結することで、供試体に蒸留水を供給した。鉛直方向の発生応力は、最大容量50 kN、最小目盛0.0122 kNのロードセルによって測定し、側方の発生応力は前述した土圧計により測定した。この際、鉛直方向の変形を抑止するために、図2中のクランプノブでピストンを固定した。しかし、鉛直方向の変形を完全に防ぐことはできないため、変形量を最大容量25 mm、最小目盛0.002 mmの変位計で測定し、供試体の乾燥密度を補正した。発生応力は50日間測定した。

3. 供試体作製時および吸水後の鉛直・側方の発生応力

図3は静的締固め時に与えた鉛直圧とそれに伴う側方の発生応力である。側方の発生応力は、与えた鉛直圧の0.36倍～0.41倍であった。締固め終了後、側方の発生応力は1100 kPa～1300 kPa程

表 1 使用したベントナイトの基本的性質²⁾

ベントナイトの名称	クニゲル V1
粒子の形態	粉体状
主な交換性陽イオン	Na
土粒子密度(Mg/m ³)	2.79
液性限界(%)	458.1
塑性限界(%)	23.7
塑性指数	434.4
モンモリロナイト含有率(%)	57

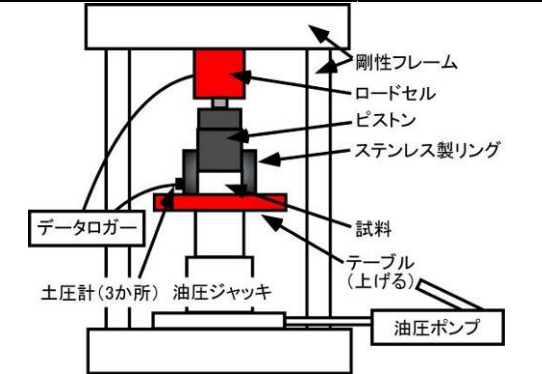


図 1 静的締固め装置の概要

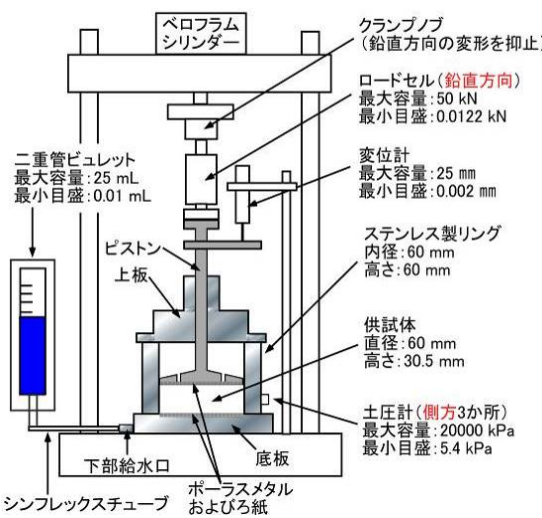


図 2 膨潤特性試験装置の概要

キーワード ベントナイト, 膨潤, 等方性, 異方性, 土圧, 放射性廃棄物

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 58 号館 203 号室 TEL:03-5286-2940

度まで急激に低下した。図4は、図3に示した締固め時から給水開始までの側方発生応力の変化である。締固め後の側方残留応力は、460分経過時まで緩やかな減少傾向を示した。460分経過時に、供試体を図2に示す底板に設置しボルトで固定したため、供試体が拘束され応力が上昇した。固定終了後の応力は、給水開始までほぼ変化しなかった。

図5は給水開始後の発生応力である。給水開始時の側方には、図4に示した締固めに起因する残留応力が1200 kPa程度発生していた。一方鉛直方向には、図2中のクランプノブを締めたことで26 kPa発生していた。両者は、給水開始後に1700 kPa～1900 kPa程度まで急激に増加した。ただし、側方の発生応力の方が第一の上昇ピークに達する時間が早く、その差は約3日である。上昇ピーク到達後、両者は1000 kPa～1200 kPa程度まで減少したが、これについても経過時間が異なる。すなわち、下降ピークは鉛直が20.3日、側方が14.1日であった。鉛直と側方で発生応力のピーク時刻に差異がある理由は、給水開始時の応力状態が異なるためと考えられる。側方の初期応力の方が鉛直方向の初期応力よりも大きいため、上昇ピークに到達する時刻が早かったと推察する。

その後、鉛直・側方の発生応力は1600 kPa程度のほぼ同値に収束した。この要因は、ベントナイト中のモンモリロナイト結晶の配列が等方的であるためと考えられる。すなわち、含水によりモンモリロナイトの層間が等方的に拡大することで、鉛直と側方の発生応力がほぼ同値に収束したと考える。

4. まとめ

本研究では、内径60 mmのステンレス製リングの側面3か所に土圧計を組み込み、粉体状ベントナイトを静的に締固めて供試体を作製した際の鉛直・側方の発生応力と、供試体の変形を抑止した状態で蒸留水を供給した際の鉛直・側方の発生応力を50日間測定した。その結果、側方発生応力の上昇・下降ピークの時期が鉛直方向の発生応力よりも早かった。この要因は、給水開始時の側方発生応力が鉛直方向の発生応力よりも大きいためと考えられる。その後、鉛直方向と側方の発生応力はほぼ同値に収束した。この要因は、ベントナイト中のモンモリロナイト結晶の配列が等方的であるためと考えられる。すなわち、含水によりモンモリロナイトの層間が等方的に拡大することで、鉛直と側方の発生応力がほぼ同値に収束したと考えた。

参考文献 1)例えば、Komine, H. and Ogata, N.: Predicting swelling characteristics of bentonites. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers (ASCE), 130, No. 8, pp.818-829, 2004. 2)小峯秀雄, 小山田拓郎, 尾崎匠, 磯さち恵: 締固めた粉体状ベントナイト各種の水分移動特性と膨潤圧挙動に関する考察, 土木学会論文集B(地圏工学), Vol.74, No.1, pp.63-75, 2018.

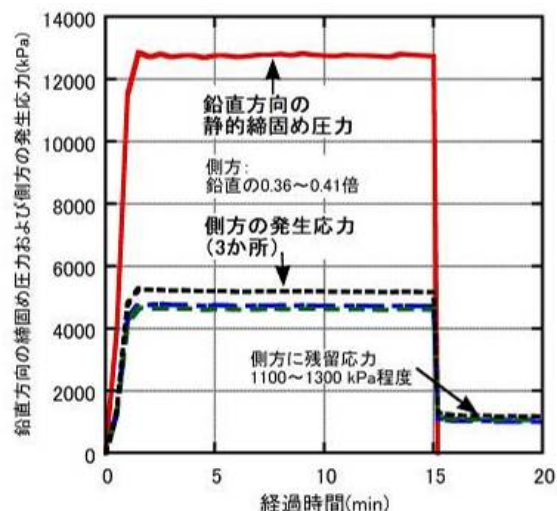


図3 静的締固め時の鉛直・側方の発生応力

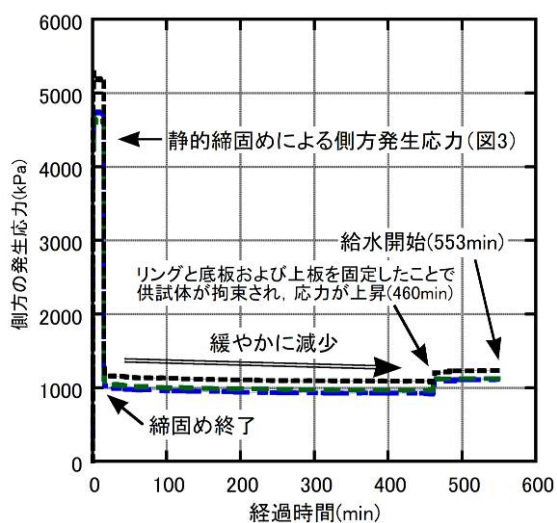


図4 締固め後の側方残留応力

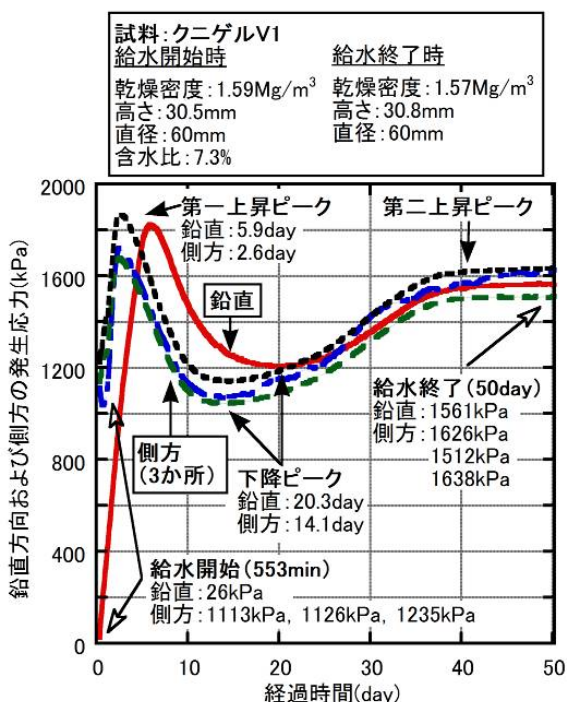


図5 給水開始後の鉛直・側方の発生応力