

## 締固めた粒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同時測定

早稲田大学 学生会員 ○市川 雄太, 正会員 小峯 秀雄, 学生会員 伊藤 大知  
戸田建設 正会員 関口 高志, 正会員 三浦 玄太

### 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、その膨潤圧などに関する研究が進められている<sup>1)</sup>。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、試料を動的に締固めて供試体を作製する段階から、側方に発生する応力を測定し、その後の吸水に伴って発生する鉛直方向および側方の応力を測定した。

### 2. 鉛直方向および側方の発生応力同時測定実験の概要

本実験は、ベントナイト供試体の変形を可能な限り抑止した状態で、供試体下端から蒸留水を供給し、その際に発生する応力と吸水量を同時測定するものである。表1に本実験で用いたベントナイトの基本的性質を示し、図1に膨潤特性試験装置を示す。図中の内径150mmのステンレス製リング内に高さ50mmの供試体を作製し、下部給水口と二重管ビュレットをシンフ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。

表1 使用した試料の基本的性質<sup>2)</sup>

ベントナイトの名称	クニゲル GX
最大粒径(mm)	10
粒子の形態	粒状
主な交換性陽イオン	Na
土粒子密度(Mg/m <sup>3</sup> )	2.65
液性限界(%)	344.4
塑性限界(%)	23.6
塑性指数	320.8
モンモリロナイト含有率(%)	48.6

供試体は、試料を動的に締固めることで作製した。まず、試料に対し目標含水比の20%になるよう蒸留水を添加し、24時間以上養生した。次に、図1に示す3つの土圧計(最大容量:2000kPa, 最小目盛:0.57kPa)の供試体作製前の初期値を測定し、そこからの応力測定を開始した。そして、1層10mmとし、ステンレス製の突き棒(質量:2260g)を用いて5層で締固めを行い、目標高さ50mmの供試体を作製した。

作製した供試体の吸水に伴う鉛直方向の発生応力は、ロードセル(最大容量:50kN, 最小目盛:0.0122kN)によって測定し、側方の発生応力は側面3か所に組み込んだ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1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、変形量を変位計(最大容量:10mm, 最小目盛:0.001mm)で測定し、供試体の乾燥密度を補正した。一方、側方の膨潤変形は、ステンレス製リングで供試体を拘束することにより抑止した。また、供試体の吸水量は、二重管ビュレットの水位の低下分とみなし、目視により測定した。以上に述べた全測定量の、データ取得時点での測定期間は、57日である。

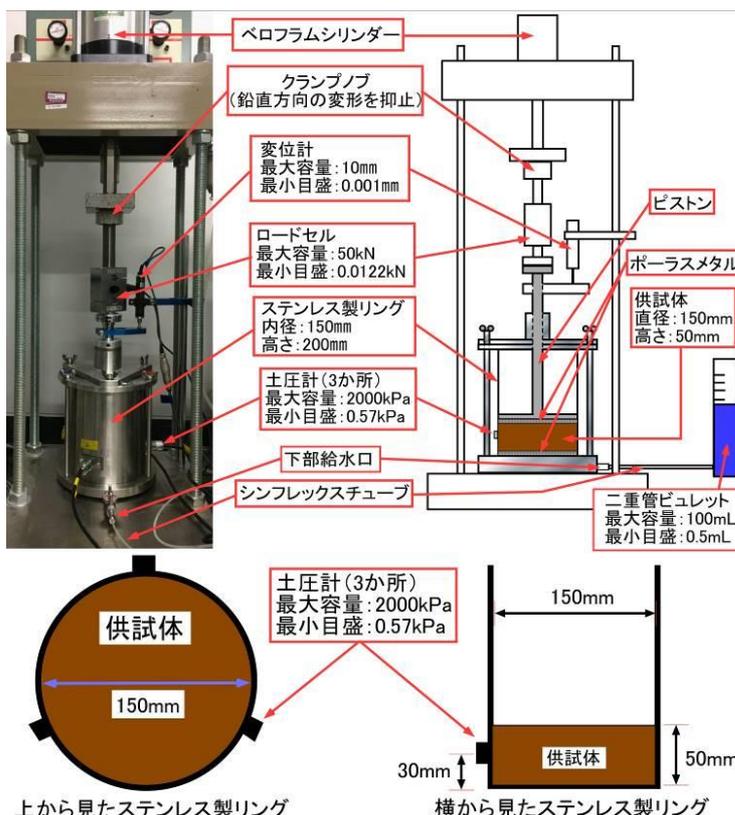


図1 膨潤特性試験装置

キーワード ベントナイト, 膨潤, 高レベル放射性廃棄物, 地層処分, 側方応力, 土圧計  
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

### 3. 供試体作製時における側方応力の測定結果および吸水に伴う鉛直・側方発生応力同時測定の結果

図 2は、供試体作製から吸水開始時までの側方応力の変化であり、図 3は、吸水開始時からの鉛直方向および側方の発生応力を同時測定した結果である。吸水は、供試体作製完了後に、土圧計の初期値を取り直さずに開始した。そのため、図 2における最後の応力（152 分経過時：吸水開始時）と、図 3における初期応力（0 日経過時：吸水開始時）は同値である。また、図 4は、図 3の各応力値から吸水開始時の各応力値を差し引いた吸水後の応力増分である。

図 2に示すように、30 分経過頃までは応力はほぼ発生していなかったが、36 分経過時には 403~607 kPa まで増加している。これは、30 分経過頃までは供試体高さが 2 層分の 20 mm であったため、土圧計位置の 30 mm に達していなかったが、3 層目を締め付けた際に供試体が土圧計に接触したためである。また、吸水開始時の 3 つの側方応力は 479~585 kPa であり、側方に同程度の応力が発生するように締められている。次に、図 3のように、各応力は経過時間 5 日頃まで急激に低下した。ただし、3 つの側方発生応力のうち、応力 1 および応力 3 が 304 kPa および 298 kPa までの低下に留まったのに対し、応力 2 は 120 kPa まで低下している。その後、各応力は増加に転じ、27 日経過頃に応力 2 の値が応力 1 の値を上回った。この理由として、吸水開始直後は水の浸透が不均一であり、応力 2 の土圧計付近に水があまり浸透していなかったが、時間経過に伴って水の浸透が均一に近づいたことが考えられる。一方、鉛直方向の応力は、全体的に増加傾向を示した。また、57 日経過時における側方の発生応力（682~809 kPa）は鉛直方向の発生応力（460 kPa）の 1.48~1.76 倍であり、鉛直・側方のいずれも収束せずに増加を続けた。また、図 4のように、側方の各応力の吸水後の増分は、時間経過に伴って同程度を示し、57 日経過時点では 159 kPa~224 kPa であった。また、この時点での鉛直方向の応力増分（452 kPa）は、側方の 2.02~2.84 倍を示した。

### 4. まとめ

本研究では、内径 150 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、リング内に粒状ベントナイトを動的に締め付けて供試体を作製した際に発生した側方応力と、その後、供試体の変形を可能な限り抑止した状態で蒸留水を供給した際に、鉛直および側方に発生した応力を 57 日間測定した。その結果、供試体の吸水開始時の側方応力は 479~585 kPa であり、側方に同程度の応力が発生するように締め付けた。また、各側方応力は吸水直後から急激に低下した後、増加傾向に転じた。一方、鉛直方向の応力は全体的に増加傾向を示した。そして、57 日経過時点では、鉛直方向および側方の発生応力はいずれも収束せずに増加を続けた。そのため、57 日経過後も測定を継続しており、発表時はより長い経過時間での傾向について報告する予定である。

**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) 小山浩勝, 小峯秀雄, 村上哲, 山田淳夫: 粒状ベントナイトの吸水特性と水分拡散係数としての評価に及ぼす最大粒径の影響, 第 48 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 2193-2194, 2013.

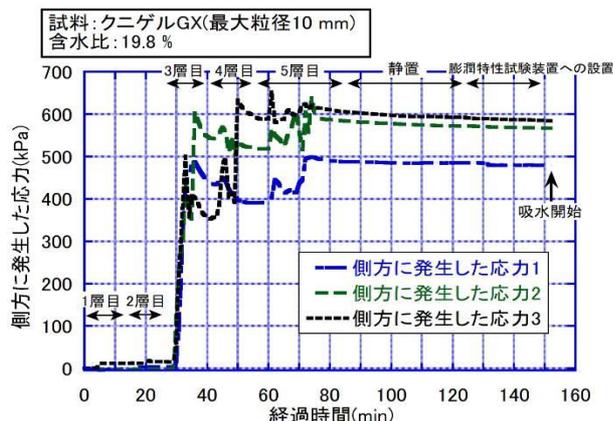


図2 供試体作製から吸水開始までの側方応力

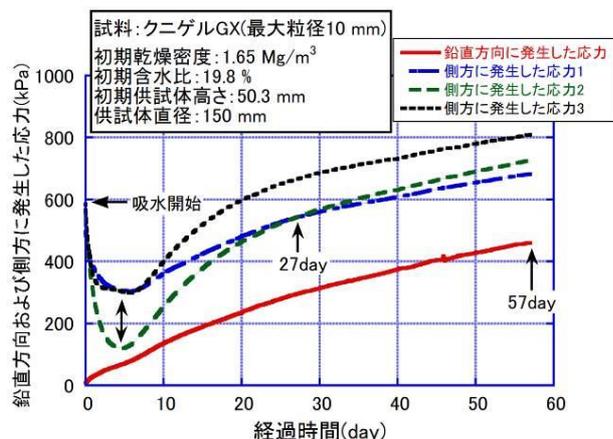


図3 吸水後の鉛直方向および側方の発生応力

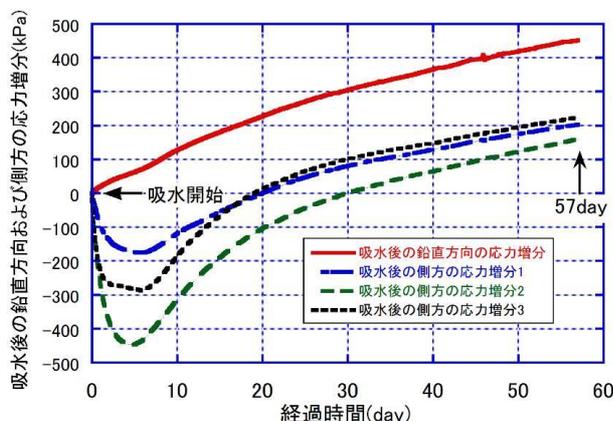


図4 吸水後の鉛直方向および側方の応力増分