

蒸気圧法を用いたベントナイトの水分特性曲線の測定

足利工業大学 正会員 ○西村友良

東京大学 生産技術研究所 正会員 古関 潤一

1 まえがき

不飽和地盤の工学的性質の予測では土の水分特性曲線の正確な把握が不可欠である。保水性試験の実務レベルへの広がり期待される中、西村・古関^{1) 2)}は微細多孔質膜を使用することによる測定時間短縮化を報告し、さらに非塑性シルト、カオリン、関東ロームの水分特性曲線を明らかにしている。さらに本研究では放射性廃棄物の地層処分においてバリア材に利用される膨張性土のベントナイトの水分特性曲線を蒸気圧法によって測定する。あわせて露点サーモサイクル水ポテンシャル測定装置を用いてベントナイトや蒸気圧法で使用する塩過飽和溶液のポテンシャル値を測定する。また本報告ではポテンシャル値を正值にしたものをサクションとして取り扱う。

2 試料・容器・装置

目標含水比を設定して乾燥ベントナイトに少量ずつ噴霧器で加水して、ベントナイトを締め固める。締め固めたベントナイトの水浸には図-1の定体積水浸容器（内径6cm、高さ2cm）を用いる。容器は剛性モールドと上下のプレートで構成され材質は耐薬品ステンレス（SUS 316L）である。プレートには直径2mmの孔を設けベントナイトに水を浸透させる。蒸気圧法で使用する塩は7種類である。ポテンシャルの測定にDECAGON社製露点サーモサイクル水ポテンシャル測定装置（WP4-T）を用いた（写真-1）。WP4-Tには蒸気圧均一化攪拌ファンが内蔵され、ポテンシャル測定範囲は0から-300MPaである。ポテンシャルの範囲によって測定精度が異なり、ポテンシャル0MPaから-10MPaまでは±0.1MPa、ポテンシャル-10MPaから-300MPaまでは±1%である。

3 試験手順

目標含水比33%のベントナイトのポテンシャル値をWP4-Tで30分間測定する。測定時後即座に、110℃の乾燥炉に入れ含水比を測定する。蒸気圧法で使用する塩のポテンシャル値をWP4-Tで測定する。ただし蒸留水を加水する前の結晶状態（固体状態）と少量の蒸留水を加えた過飽和状態の2条件とする。測定時間は両者ともに30分とした。

ベントナイトの水分特性曲線の測定を以下の手順で行った。含水比38%のベントナイトを図-1の定体積水浸容器のモールド内で突き固め、乾燥密度を 1.006g/cm^3 とする。プレートで挟み固定した後、定体積水浸容器全体を蒸留水の中に水没させ、孔を通してベントナイトに水浸作用を与える。モールドとプレートで固定されているので体積変化は起きないが膨潤圧は発生する。西村・古関³⁾は定体積条件下の同一のベントナイトの膨潤圧を測定し、226kPaまで増加することを示している。

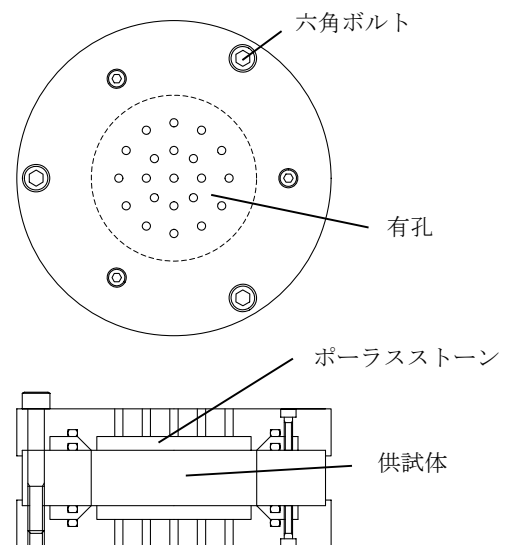


図-1 定体積水浸容器

水没1カ月後、定体積水浸容器からベントナイトを取り出し分割して蒸気圧法によって所定のポテンシャルを与え、質量の変化から含水比の変化を求める。最初に硫酸カリウムの塩過飽和溶液をガラスデシケータに置き、順に塩化リチウムまで7種類の塩に取り換え、ベントナイトにポテンシャルを-305MPa程度まで与えた（乾燥過程）。後に湿潤過程としてポテンシャルを-3.7MPaまで高めた。

4 実験結果

WP4-Tによるポテンシャル測定結果について述べる。表-1に含水比調整したベントナイトのポテンシャル値を示す。含水比が32%から33%の範囲においてポテンシャル値が-2.62MPaから-2.81MPaまで変化しており、その

キーワード:サクション, 不飽和土, ベントナイト, 水分特性曲線/連絡先:栃木県足利市大前町268 TEL 0284-62-0605 tomo@ashitech.ac.jp

表-1 加水による含水比調整後のベントナイトのポテンシャル値

試料	1	2	3	4
含水比 %	32.95	33.33	33.16	32.04
ポテンシャル MPa	-2.81	-2.62	-2.79	-2.65

表-2 塩のポテンシャル値一覧 *土の保水性試験方法(JGS 0151-2000) 付帯条項に記載 (測定温度 20℃)

	化学記号	塩飽和溶液のポテンシャル値 (MPa) *	蒸留水を加水した塩過飽和溶液		結晶状態の塩	
			ポテンシャル値 (MPa)	測定温度 (℃)	ポテンシャル値 (MPa)	測定温度 (℃)
硫酸カリウム	K_2SO_4	-2.83	-3.7	24.9	-177.9	25
硝酸カリウム	KNO_3	-6.94	-10.3	25	-178.4	25
リン酸2水素アンモニウム	$NH_4H_2PO_4$	-9.8	-9.8	25	-159.1	25
塩化ナトリウム	$NaCl$	-39	-38.9	25	-139.1	25
硝酸マグネシウム	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	-83.4	-88.1	25	-93.1	25
塩化マグネシウム	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	-148	-154.9	25	-155.5	25
塩化リチウム	$LiCl$	-296	-305.0	24.9	-307.4	25

差が 0.16MPa である。WP4-T の測定精度は、ポテンシャル値が 0MPa から -10MPa までは ± 0.1 MPa なのでベントナイトのポテンシャルの一様性が概ね得られていると考えられる。

2 条件（結晶状態と塩過飽和溶液）の塩のポテンシャル値、測定時の温度、土の保水性試験に記載されている塩飽和溶液のポテンシャル値を表-2 に示す。塩過飽和溶液のポテンシャル値は塩飽和溶液のポテンシャル値に概ね一致している。しかし、結晶状態のポテンシャル値は塩過飽和溶液の値とは異なる結果が見られる。特に硫酸カリウム、硝酸カリウム、リン酸2水素アンモニウム、塩化ナトリウムの場合は塩過飽和溶液のポテンシャル値の方が大きい。

水分特性曲線の測定結果について述べる。ベントナイトを水浸することで含水比が 38% から 67.8% に増加した。土粒子密度を 2.3 g/cm^3 と仮定した場合、水浸後の飽和度は 99.8% となる。表-2 中の塩過飽和溶液のポテンシャル値の絶対値をサクションとして水分特性曲線を図-2 に示す。水浸後 66.7% の含水比が 3.7MPa のサクションを受けたことで 60% 以下まで低下している。次に段階的にサクションを増大させると含水比は減少を示し、305MPa のサクションに平衡したベントナイトの含水比は 7% 程度である。特に 38.9MPa から 88MPa の範囲において含水比の低下が大きい。湿潤過程で 305MPa のサクションを 3.7MPa まで低下させたところ含水比はわずかであるが増大している。しかし、その含水比は 22.3% であり、乾燥過程と同じサクション値に対する含水比 60% に比べ大きく異なっている。よって、乾燥過程、湿潤過程のヒステリシスが確認された。

4 まとめ

塩過飽和溶液と塩飽和溶液のポテンシャル値は概ね一致している。

水分特性曲線において湿潤過程で水分量の増大とヒステリシスが確認された。



写真-1 露点サーモサイクル水ポテンシャル測定装置

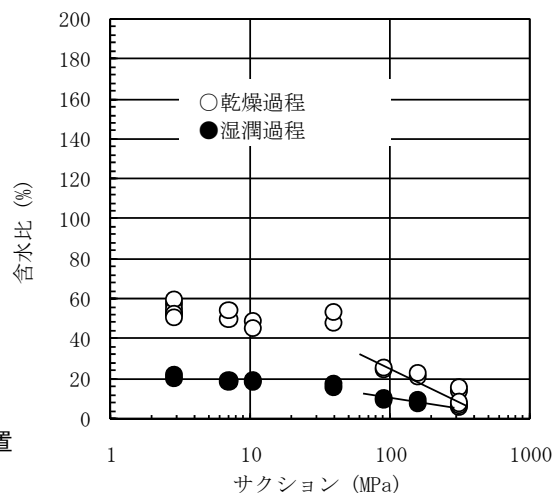


図-2 ベントナイトの水分特性曲線

参考文献 1) 西村・古関: セルローズ膜を用いた非塑性シルトの水分保持曲線, 第 63

回土木学会年次学術講演会, 2007 年. 2) 西村・古関: 加圧膜法と加圧板法で求めた

水分特性曲線の違い, 第 63 回土木学会年次学術講演会, 2008 年. 3) 西村・古関: 高サクション領域におけるベントナイトの水分量の測定, 第 8 回環境地盤工学シンポジウム, 2009 年. (投稿中)