

飽和過程におけるベントナイトの膨潤挙動に関する実験的研究

鹿島建設(株) 正会員 ○藤崎 勝利 北本 幸義
小林 一三 中嶋 誠門
田中 俊行 笹倉 剛

1. はじめに

放射性廃棄物処分施設で検討されている多重バリア構造において、ベントナイト層に地下水が接触した場合の膨潤圧が、隣接して設置される可能性のあるセメント系の構造体に与える影響を検討した例は少ない。このため、本研究では、建設・操業中、および再冠水時のベントナイト層の膨潤挙動が、セメント系の構造体に与える影響の評価手法を開発することを目的として実験的検討を行った。本文では、ベントナイトの締固め時の含水比と膨潤圧の関係、およびベントナイトの膨潤圧が不均一になる場合をシミュレートした簡易な土槽実験結果について報告する。

2 締固め時の含水比と膨潤圧の関係

(1) 試験概要

土質材料は、要求される性質に応じて締固め時の含水比が設定される¹⁾。ベントナイトにもこの考え方が適用可能と考えられるが、締固め時の含水比によってベントナイトが飽和に至るまでの吸水量、つまり飽和度の変化量も異なる。この締固め時の含水比が、ベントナイトの膨潤圧に及ぼす影響を検討するために、図-1 に示す装置を用いて室内試験を実施した。図-1 に示す装置では、ベントナイトの吸水量が測定可能であり、膨潤（吸水）過程におけるベントナイトの含水比を算出できる。試験の供試体には、装置寸法を考慮して、最大粒径 $D_{max}=4.75\text{mm}$ に調整した原鉱ベントナイトを用いた。使用した原鉱ベントナイトの締固め曲線（ $5E_c$ ）と試験ケースを図-2 に示す。

(2) 試験結果

試験結果を表-1 に、供試体含水比 w と膨潤圧 s_s の関係を図-3 に、供試体飽和度 S_r と膨潤圧 s_s の関係を図-4 に、飽和度変化量 DS_r と最大膨潤圧 s_{smax} の関係を図-5 に示す。なお、供試体飽和度 S_r は、供試体の乾燥密度 ρ_d を一定とし、24時間水浸した原鉱ベントナイトの土粒子密度 $\rho_s=2.73\text{Mg/m}^3$ を用いて算出した。

試験の結果、膨潤圧 s_s は吸水開始直後から発生し、図-3 に示すように、膨潤圧 s_s が平衡状態になった後も含水比 w が僅かに上昇した。図-4 によると、最大膨潤圧時の供試体飽和度 S_r は、最適含水比 w_{opt} よりも湿潤側で締め固めた case.5 を除い

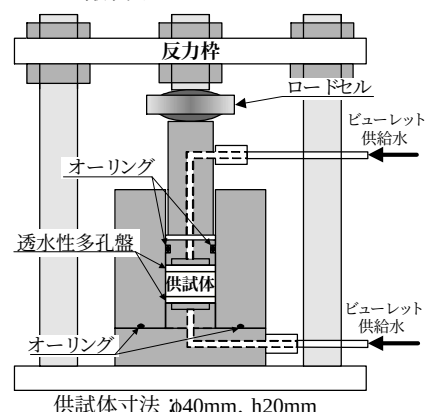


図-1 膨潤圧試験装置

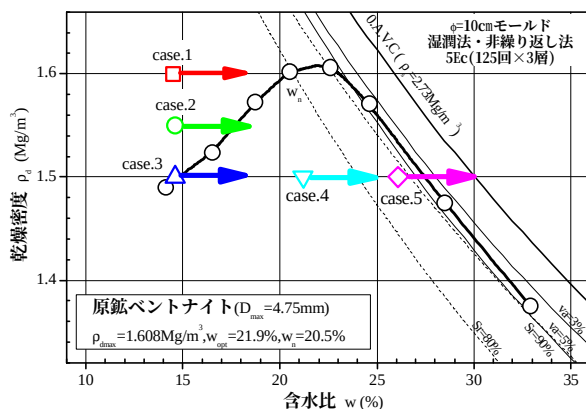


図-2 締固め曲線と試験ケース

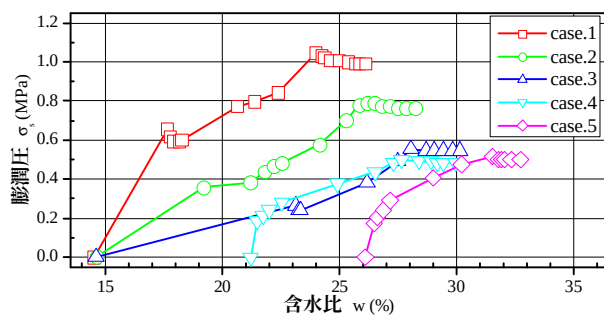


図-3 供試体含水比と膨潤圧の関係

表-1 膨潤圧試験試験結果

	初期含水比 w_0 (%)	乾燥密度 ρ_d (Mg/m^3)	初期飽和度 S_{r0} (%)	最大膨潤圧時		平衡膨潤圧時	
				σ_{smax} (MPa)	w_{smax} (%)	σ_{sf} (MPa)	w_f (%)
case.1	14.5	1.60	56.0	1.05	24.0	1.00	26.1
case.2	14.6	1.55	52.4	0.80	26.2	0.77	28.2
case.3	14.6	1.50	48.6	0.55	28.0	0.55	30.1
case.4	21.2	1.50	70.6	0.50	27.7	0.48	29.9
case.5	26.1	1.50	86.9	0.52	31.5	0.50	32.7

キーワード 人工バリア、ベントナイト、締固め、膨潤圧

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 0424-89-7698

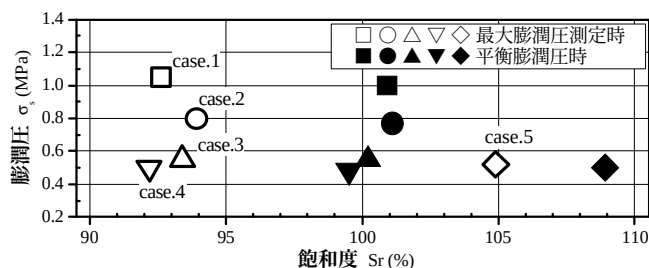


図-4 供試体飽和度と膨潤圧の関係

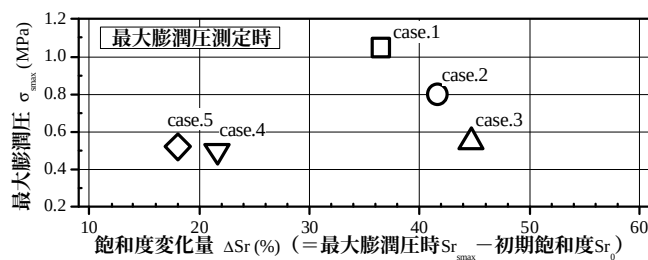


図-5 飽和度変化量と最大膨潤圧の関係

て92～94%程度となっている。case.5の供試体飽和度 S_r が他のケースよりも大きいのは、吸水等によって土粒子密度の値が変化したことが一因と考えられる。図-5のうち、供試体の乾燥密度 r_d が同じであるcase.3～5は、飽和度変化量 ΔS_r （最大膨潤圧時の飽和度と初期飽和度の差）に関わらず、最大膨潤圧 s_{smax} が同様な値となった。このことから、最大膨潤圧 s_{smax} は乾燥密度 r_d に依存し、乾燥密度 r_d が同等であれば、最大膨潤圧 s_{smax} は飽和度変化量 ΔS_r の差異の原因となる締固め時の含水比には依存しないと言える。

3 膨潤圧の不均一性を模擬した土槽実験

(1) 実験装置

使用した実験モデルは図-6に示すとおりであり、幅700mm、奥行き150mmの土槽を使用し、土槽底部に層厚20mmのベントナイト層（原鉱ベントナイト、 $D_{max}=4.75\text{mm}$ 、 $w_0=14.5\%$ 、 $r_d=1.6\text{Mg/m}^3$ ）を設けた。なお、ベントナイト層の表面には砂を敷き、拘束板との密着性を高めた。拘束板は、土槽両端の反力棒で支持し、鉛直変位のみを拘束した。実験では、土槽底部両端から水を注水（最大水頭差1m程度）し、拘束板の鉛直変位量を測定した。

(2) 土槽実験結果

実験開始36日後の土槽実験状況を写真-1に、拘束板の鉛直変位量測定結果を図-7に示す。写真-1に示すように、ベントナイト層の膨潤が予想を越えて不均一な状態となり、拘束板が上方凸型に大きく塑性変形した。この変形は、図-7に示すように、実験開始直後から生じていることがわかる。なお、実験終了時にベントナイト層を切り出して、含水比を測定したところ、ポーラスストーン直上付近では70%にまで上昇していたのに対して、土槽中心付近では15%程度であり、ほとんど吸水していないことが確認できた。これらのことから、ベントナイト層が完全飽和に至る前の部分的な飽和段階においても膨潤圧が発生し、ベントナイト層内の膨潤状態に差異が生じることで、セメント系の構造体等に偏圧が作用することが確認できた。

4 おわりに

飽和過程におけるベントナイトの膨潤挙動について実験的な検討を行い、いくつかの知見が得られた。特に、ベントナイト層が完全飽和に至る前の部分飽和段階で膨潤圧が発生し、ベントナイト層内の膨潤状態に差異が生じた場合、セメント系の構造体等に偏圧が作用する可能性を確認できたことは重要な成果である。今後も引き続いて、建設・操業時、および再冠水時のベントナイトの膨潤挙動が、周辺構造物に与える影響を検討する予定である。

<参考文献>1)例えば、(社)地盤工学会「土の締固めと管理」第1章 総論、pp.20_27、1991

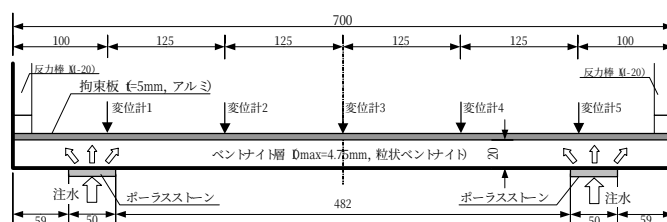


図-6 実験モデル

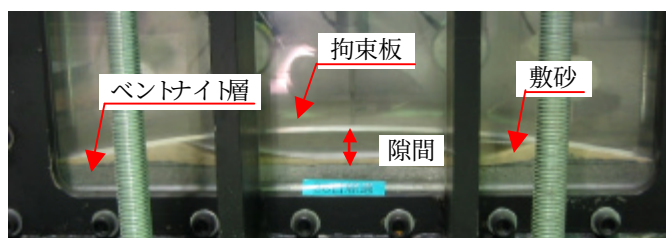


写真-1 土槽実験状況（実験開始36日後）

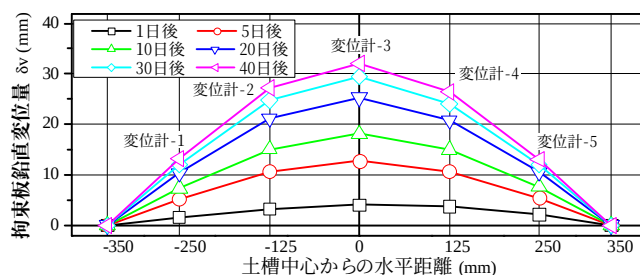


図-7 拘束板の鉛直変位量測定結果