

締固めたベントナイトの膨潤圧の経時変化に及ぼす供試体厚さの影響—その2

早稲田大学 正会員 ○王 海龍

1. 目的: 本研究では高レベル放射性廃棄物の地層処分におけるベントナイト系緩衝材に着目し、膨潤変形が拘束された締固めたベントナイトの吸水時に発生する見かけの膨潤圧(p_s)に及ぼす供試体の厚さの影響を検討した。本研究の詳細内容は、Wang et al. (2022)にご参考いただく。

2. 研究方法: 膨潤圧実験で使用した膨潤圧装置は、Wang et al. (2021)が提案した装置を参考し、図1に示すように p_s の計測に特化したものである。実験では、まず、内径 $\phi 28$ mmの供試体リングに静的締固めより作製した供試体を、装置の上・下版の間に装着した。そして、蒸留水を上版の給水口から、給水溝およびメンブレンフィルターを通して供試体を浸潤させた。 p_s は、上版に接着した圧力センサー(容量: 7MPa)で計測した。本研究では、粉末ベントナイトクニゲルV1 (K_V1)用いて、表1に示す供試体の厚さ2, 3, 4, 5, 10 mm, 初期乾燥密度1.00~1.86 Mg/m³の範囲で合計68ケースを実施した。 p_s の発生に伴って、メンブレンフィルターが圧縮され、装置も若干膨張するため、これらの変形を供試体の膨潤変形量として計上し、供試体の最終乾燥密度を算出した。

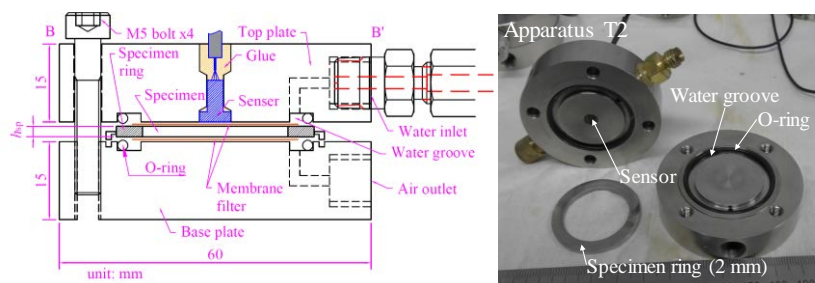


図1 膨潤圧装置図(左)設計図(右)装置実物

表1 実験条件のまとめ

h_{sp}	w_i	ρ_{di}	w_f	ρ_{df}	S_{rf}
mm	%	Mg/m ³	%	Mg/m ³	%
2	7.1-7.9	1.00-1.86	23-61	0.99-1.72	89-110
3	7.2-7.4	1.14-1.80	21-47	1.13-1.75	89-99
4	7.4-7.5	1.13-1.80	22-51	1.13-1.74	95-102
5	7.4-7.7	1.18-1.82	21-47	1.18-1.76	91-103
10	7.1-7.5	1.15-1.74	22-49	1.15-1.72	96-102

Note: h_{sp} : specimen thickness; w_i : initial water content of tested material;

ρ_{di} : initial dry density; w_f : final water content; ρ_{df} : final dry density; S_{rf} :

final degree of saturation.

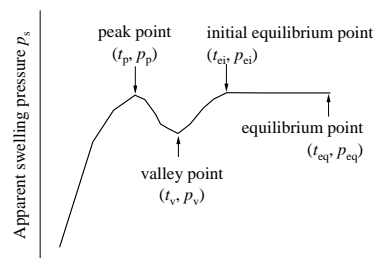


図2 膨潤圧経時変化の概念

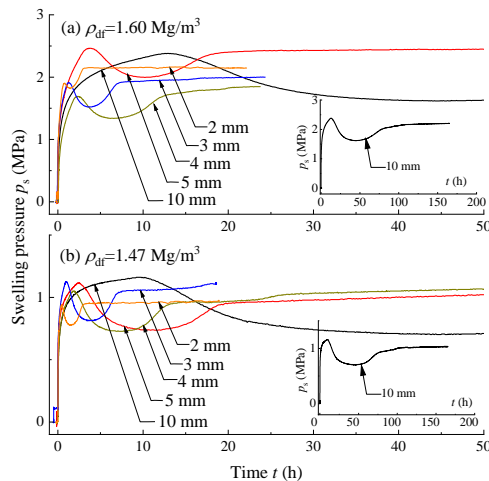


図3 厚さの異なる供試体の膨潤圧の

3. 結果および考察: 図2示すように、 p_s は経時的にピーク膨潤圧(p_p)までの初上昇、谷膨潤圧(p_v)までの減少、初期平衡膨潤圧(p_{ei})までの再上昇、そして平衡膨潤圧(p_{eq})の到達という4段階があると既往研究で数多く確認された。厚さが異なる供試体の p_s 経時変化も、図3に示すように、各段階に至る時間が異なるが、 p_s の経時曲線の全体挙動は、図2と同様であった。供試体の最終乾燥密度と p_p , p_v , p_{ei} , p_{eq} との関係は、図4にまとめた。図4に示すように、一定の乾燥密度において、 p_s 値のバラつきが若干あるものの、各段階の p_s に及ぼす供試体の厚さの影響が見られなかった。また、 p_p と最終乾燥密度の関係の片対数グラフにおいては、直線的な相関関係がみられたが、吸水時間が長くなるにつれ、 p_s と最終乾燥密度の関係の直線部分が少なくなった。

p_s はベントナイトの供水に伴うモンモリロナイトの膨潤と土粒子の移動による見かけの結果であるため、 p_s の経

時変化は、水分の浸入過程に依存すると考えられる(Wang et al. 2020). そこで、本研究では、 p_s の経時変化の正規化方法として、時間係数 $\chi_{sp} = h_{sp}/\sqrt{t}$ を提案する(h_{sp} :供試体の厚さ). 例えば、 t_p , t_v , t_{ei} の時間係数は、それぞれ $\chi_p = h_{sp}/\sqrt{t_p}$, $\chi_v = h_{sp}/\sqrt{t_v}$, $\chi_{ei} = h_{sp}/\sqrt{t_{ei}}$ である. 図3の時間軸を χ_{sp} 軸で示すことで、図7に示すように、厚さの異なる供試体の膨潤圧の経時変化は、 χ_{sp} 軸で統一している. そのため、見かけの膨潤圧の経時変化は水分の拡散過程に依存すると考えられる.

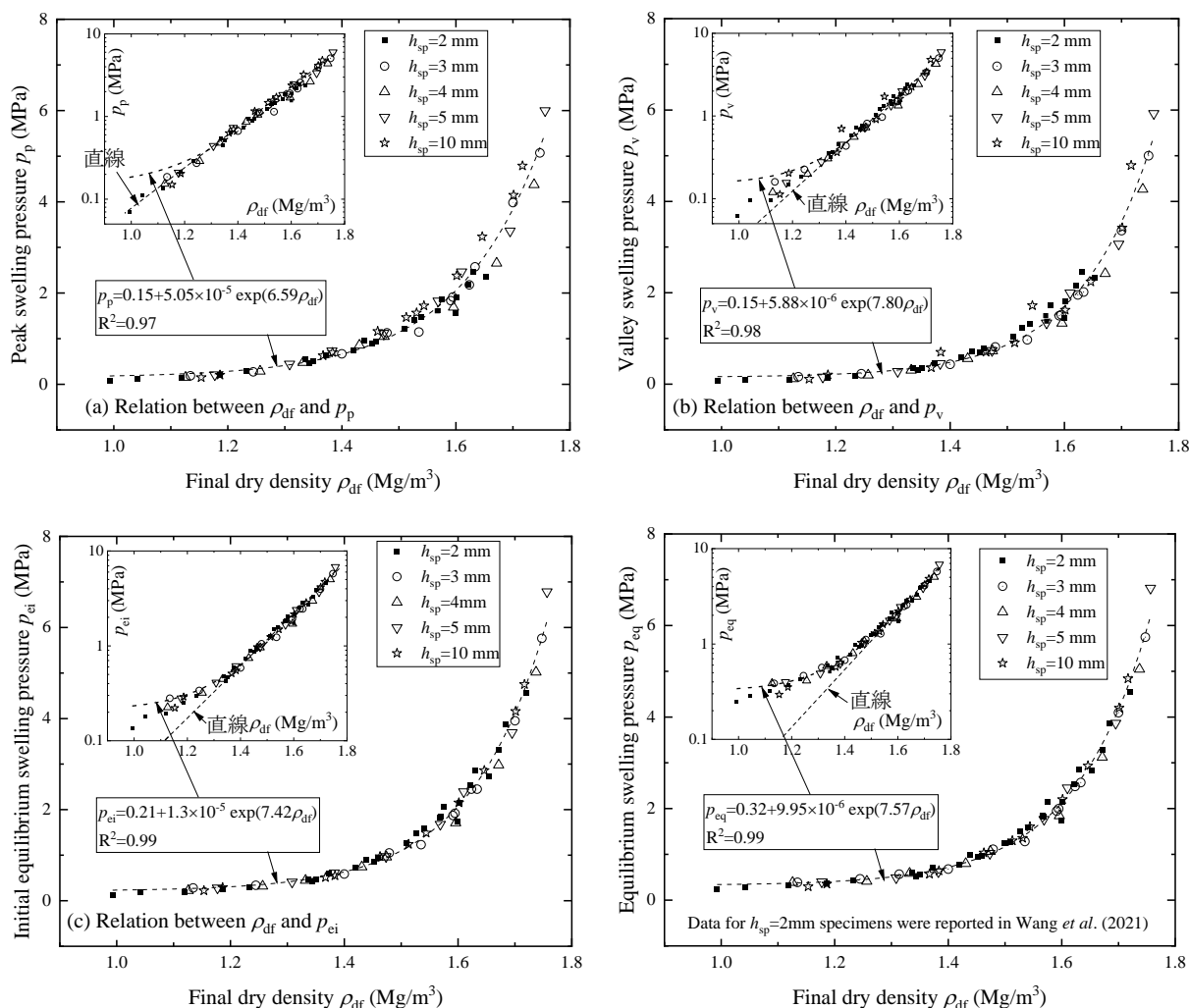


図4 供試体の最終乾燥密度と p_p , p_v , p_{ei} , p_{eq} との関係

謝辞: 本研究の一部は早稲田大学・理工学術院総合研究所重点領域・持続的将来社会研究所の活動として行われた。本研究の一部は、早稲田大学特定課題研究助成費(課題番号: 2021C-231, 2020R-034)および大成学術財団研究助成による研究成果の一部である。

参考文献:

- ① H.Wang, K. Ruan, S. Harasaki, H. Komine. "Effects of specimen thickness on apparent swelling pressure evolution of compacted bentonite". *Soils and Foundations*, <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2021.101099>, 2022.
- ② H. Wang, H. Komine, T. Gotoh. "A swelling pressure cell for x-ray diffraction test". *Geotechnique*, <https://doi.org/10.1680/jgeot.20.00005>, 2021.
- ③ H.Wang T.Shirakawabe H.Komine D.Ito T.Gotoh Y.Ichikawa Q.Chen. "Movement of water in compacted bentonite and its relation with swelling pressure", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 57 No. 6 p. 921-932, 2020

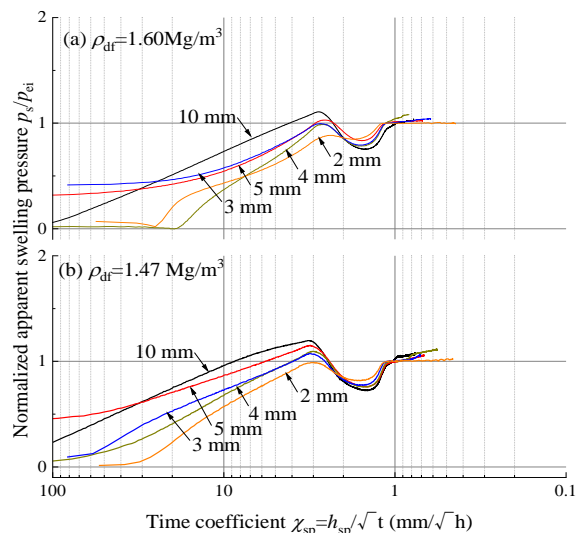


図5 正規化した時間と膨潤圧の関係