# 拡散二重層理論適用限界の観点からのベントナイトの締固め特性の評価

#### 茨城大学 正会員 〇小峯 秀雄

## 1. はじめに

高レベル放射性廃棄物処分において,緩衝材としてベントナイトを締固め,ブロック状にしたものを利用す ることが有望視されている. 緩衝材には、低透水性や自己シール性、熱伝導性をはじめとする 11 項にも及ぶ 性能が要求されている<sup>1)</sup>.著者は、要求されている性能の内、低透水性、膨潤による自己シール性、製作性、 強度・変形特性の観点から設計法の開発や施工・品質管理において必要となるデータベースの構築を進めてい る.この内,膨潤による自己シール性を評価するために,拡散二重層理論と著者が独自に提案したベントナイ トの膨潤メカニズムを組み合わせた緩衝材・埋戻し材の膨潤評価式を提案している<sup>2),3)</sup>. 拡散二重層理論は、 モンモリロナイトの結晶層間距離と結晶層間に生じる斥力の関係を定量的に評価できる理論であるが,結晶間 での陽イオンが拡散分布している状態を前提としており,この前提条件から適用限界があることが広く知られ ている.本研究では,著者が構築している各種ベントナイトの膨潤圧に関するデータベースと,上記の膨潤評 価式の計算結果を比較し、先の拡散二重層理論の適用限界から、ベントナイトの締固め特性の評価を試みた結 果を報告する.

#### 2. 膨潤評価式の概要とその適用限界

著者の提案する緩衝材・埋戻し材の膨潤評価式について は,参考文献2),3)に詳述されている.著者は参考文献2),3) において,粘土鉱物結晶間の反発力を評価できる Gouy-Chapman の拡散二重層理論式と結晶間の引力である van der Waals 力を評価できる理論式を,著者の提案するパ ラメータ「モンモリロナイトの膨潤体積ひずみ」の算出式 と組み合わせることにより,緩衝材・埋戻し材の膨潤評価 式を提案した.この膨潤評価式では.砂とベントナイトの 質量比率に関するパラメータを導入することにより配合 割合を考慮している.また、ベントナイトに含有される主 要陽イオンの Na, Ca, K, Mg に起因する反発力と引力を 算定し、各イオンの個数に応じて加重平均することにより、 陽イオンの種類と組成を考慮できるようにしている. 膨潤 評価式の概念を図1に示す.

#### 3. 各種ベントナイトの膨潤圧特性への適用性の観点から

膨潤評価式の基本となる Gouy-Chapman の拡散二重層理 論では、陽イオンの大きさを無視し点電荷と仮定している.



キーワード ベントナイト,放射性廃棄物地層処分,締固め特性,拡散二重層理論,粘土鉱物 連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学工学部都市システム工学科 TEL0294-38-5163



図 1 膨潤評価式の概念

ベントナイトのモンモリロナイト含有率が高く,乾燥 密度が大きい場合にはモンモリロナイト結晶層間の 距離が短くなるので,Stern層内の静電ポテンシャルの 影響がより強くなると考えられる.

Yong らによれば,2 つの粘土結晶層間の距離が 1.5nm 以下のとき,交換性陽イオンは層間において拡 散分布しないため Gouy-Chapman の拡散二重層理論の 適用が難しくなることが指摘されている<sup>5),6)</sup>.参考文 献 7)に報告された各種ベントナイトの膨潤圧特性デ ータを参考に,各種ベントナイトにおいて実際に供試 体作製が可能であった初期乾燥密度の最大値を*pdo* と して膨潤評価式により計算した結果を表1に示す.な お,表1に示す計算結果と最大膨潤圧の実測値との整 合性は,既に参考文献3)で報告されている.

表1より、すべてのベントナイトにおいて、結晶層 間の距離 2dの値はおおよそ1.53nm以上となっており、 Gouy-Chapman の拡散二重層理論の適用が十分可能な 範囲にあった.締固めにより達成可能な初期乾燥密度 の最大値と表1の結果を総合的に判断すると、各種ベ



図2 拡散二重層理論の適用限界

ン	F	ナ	イ	F	の	締	古	め	特	性	に	つ
い	τ	は	,	次	の	よ	う	に	推	察	で	き
る	•	す	な	わ	ち	,	1	拡	散		重	層
理	論	が	適	用	で	き	る	乾	燥	密	度	以
Ŀ	に	締	古	め	る	5	と	は	木	難	で	あ
る	•	2	2	の	推	察	結	果	か	6	各	種
べ	ン	$\mathbb{P}$	ナ	イ	ŀ	の	締	固	め	に	よ	る
乾	燥	密	度	の	限	界	値	を	理	論	的	に
示	す	2	と	が	で	き	る		3	今	口	の
推	察	結	果	か	6	,	モ	ン	モ	IJ	ロ	ナ
イ	ŀ	含	有	率	が	大	き	い	べ	ン	ŀ	ナ
イ	$\mathbb{P}$	は	高	い	乾	燥	密	度	に	締	め	固
め	る	Ľ	と	は	木	難	と	考	え	6	れ	る

表1 各種ベントナイトの膨潤圧特性に関する膨潤評価式の計算結果

Bentonite	$ ho_{d0} (\mathrm{Mg/m^3})$	$n_0 (\mathrm{mol/m^3})$	$\mathcal{E}_{SV}^{*}(\%)$	$d_i(\mathbf{m})$	P (kPa)
Kunigel-V1	2.0	40	81.75	$d_{Na}^{+} = 9.629 \times 10^{-10}$	3228.9
(Sodium-type)				$d_{Ca}^{2+} = 9.875 \times 10^{-10}$	
				$d_K^+ = 1.027 \times 10^{-9}$	
				$d_{Mg}^{2+} = 9.366 \times 10^{-10}$	
Volclay	1.8	30	81.68	$d_{Na}^{+} = 9.622 \times 10^{-10}$	4080.1
(Sodium-type)				$d_{Ca}^{2+} = 9.867 \times 10^{-10}$	
				$d_{K}^{+} = 1.026 \times 10^{-9}$	
				$d_{Mg}^{2+} = 9.359 \times 10^{-10}$	
Kunibond	1.4	20	119.62	$d_{Na}^{+} = 1.364 \times 10^{-9}$	352.8
(Calcium-type)				$d_{Ca}^{2+} = 1.393 \times 10^{-9}$	
				$d_{K}^{+} = 1.441 \times 10^{-9}$	
				$d_{Mg}^{2+} = 1.332 \times 10^{-9}$	
Neokunibond	1.5	20	106.99	$d_{Na}^{+} = 1.230 \times 10^{-9}$	3571.7
(Artificial				$d_{Ca}^{2+} = 1.258 \times 10^{-9}$	
sodium-type)				$d_{K}^{+} = 1.302 \times 10^{-9}$	
				$d_{Mg}^{2+} = 1.200 \times 10^{-9}$	
MX-80	1.9	30	65.32	$d_{Na}^{+} = 7.891 \times 10^{-10}$	6506.1
(Sodium-type)				$d_{Ca}^{2+} = 8.114 \times 10^{-10}$	
				$d_{K}^{+} = 8.470 \times 10^{-10}$	
				$d_{Mg}^{2+} = 7.651 \times 10^{-10}$	

## 参考文献

- 1) (財)電力中央研究所・電気事業連合会:高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化技術,1999.
- 2) Komine, H. and Ogata, N.: New equations for swelling characteristics of bentonite-based buffer materials, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 40, No. 2, pp. 460-475, 2003.
- Komine, H.: Evaluation of swelling characteristics of buffer and backfill materials considering the exchangeable-cations compositions of bentonite and its applicability, Proceedings of the 15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol. 3, pp.1981-1984, 2001.
- 4) Mitchell, J.K. : Fundamentals of soil behavior (Second Edition), John Wiley & Sons, Inc., pp.111-130, 1993.
- 5) Yong, R. N., Mohamed, A. M. O. and Warkentin, B. P. : Principles of Contaminant Transport in Soils, Elsevier Science Publishers B. V., 1992.
- 6) Yong, R.N. and Mohamed, A.M.O. : A study of particle interaction energies in wetting of unsaturated expansive clays, Canadian Geotechnical Journal, Vol.29, No.6, pp.1060-1070, 1992.
- 7) 小峯秀雄・緒方信英:砂・ベントナイト混合材料および各種ベントナイトの膨潤特性,土木学会論文集 No.701/III-58, pp.373-385, 2002.