

原鉱石から調整した粒状ベントナイトの特性試験(1)

～締固め特性について～

クニミネ工業(株)黒磯研究所 正会員 伊藤 弘志*
 (株)クニミネ 正会員 ○渡辺 浩樹

1. はじめに

放射性廃棄物地層処分においては、廃棄体の封入された容器と周辺岩盤との間に、高乾燥密度に締固めたベントナイトを緩衝材として施工することが検討されている。現場においてベントナイト緩衝材を施工する場合には、一般に市販されている粉末状のベントナイトよりも粒径の大きいベントナイトを使用することが有効であると考えられている¹⁾。そこで本研究では、ベントナイト原鉱石を乾燥・粗砕する事で調整した 21 種類の粒状ベントナイトの締固め試験を行い、締固め特性に与える粒径やベントナイト原鉱石の物理・化学的特性の影響について検討した。

2. 試料調整および試験方法

試験試料は、山形県産 4 種類(以下 T1、T2、T3、T4)、ワイオミング州産 3 種類(以下 W1、W2、W3)のベントナイト原鉱石を、110℃において含水比 6±1%となるまで乾燥させた後、粗砕・篩い分けを繰り返すことにより、10mm 以下、2mm 以下、1.6-10mm の 3 種類の粒径範囲に調整したものをを用いた。表 1 に各試料の均等係数および見かけ比重の値を示す。

各原鉱石を乾燥・粉砕することで得た粉末試料(最大粒径 250 μm)を用いて、各原鉱石の物理・化学的特性を決定した。液性限界、塑性限界は JIS A 1205 に、膨潤力、メチレンブルー吸着量および陽イオン交換容量はそれぞれ JBAS-104-77、JBAS-107-91 および JBAS-106-77 に準拠した。また、浸出陽イオン量は陽イオン交換容量の測定時に得られた酢酸アンモニウム抽出液中の各陽イオン濃度を原子吸光法により求めることで決定した。各試験結果を表 2 に示す。膨潤力や陽イオン交換容量に対する浸出 Na イオン量の割合から、各ベントナイト原鉱石は Na 型に区分されると判断できる。

締固め試験は「突き固めによる土の締固め試験方法(JIS A 1210)」に準拠し、4.5kgf ランマー、1000cm³ モールドを用いて締固めエネルギー 4.5Ec で行った。試料の含水比はアイリッヒミキサー(R-02)を用いて加水により調整した。

3. 結果と考察

締固め試験によって得られた締固め曲線を図 1 に示す。締固め曲線の形状は、同一の原鉱石であれば粒径に関わらずほぼ同じ形状を示す傾向にある。また、これらの締固め曲線から各試料の最大乾燥密度、最適含水比を読み取れば、それらの値は粒径よりもむしろ使用する原鉱石に強く依存する傾向が見て取れる。これらのことは、粒径の工学的分類上は礫や砂に相当するものであっても、それがベントナイトで構成されている材料の場合には、その動的な締固め特性は粘土粒子間の物理・化学的作用などの微視的要因によって支配されていることを示唆しているものと考えられる。

表1 各試験試料の均等係数と見かけ比重

使用原鉱石	粒径	均等係数U _c	見かけ比重(g/cm ³)
T1	10mm以下	8.08	1.21
	2mm以下	9.27	1.25
	1.6-10mm	2.47	1.00
T2	10mm以下	12.37	1.20
	2mm以下	11.75	1.25
	1.6-10mm	1.72	1.01
T3	10mm以下	8.42	1.22
	2mm以下	5.71	1.25
	1.6-10mm	2.52	1.10
T4	10mm以下	11.21	1.25
	2mm以下	5.72	1.19
	1.6-10mm	2.60	1.12
W1	10mm以下	9.12	1.42
	2mm以下	7.81	1.38
	1.6-10mm	2.36	1.18
W2	10mm以下	6.81	1.20
	2mm以下	10.34	1.22
	1.6-10mm	2.42	1.02
W3	10mm以下	13.16	1.20
	2mm以下	9.30	1.21
	1.6-10mm	2.47	1.02

表2 各ベントナイト原鉱石乾燥粉砕試料の物理・化学的特性

試料名	T1	T2	T3	T4	W1	W2	W3	
膨潤力(ml/2g)	21	14	26	23	22	23	26	
液性限界(%)	504.1	399.3	767.8	639.9	614.4	511.3	690.3	
塑性限界(%)	29.2	23.3	30.1	28.8	33.0	38.0	38.8	
塑性指数(%)	474.8	376.1	737.7	611.1	581.4	473.3	651.6	
メチレンブルー吸着量(mmol/100g)	85	63	98	90	91	100	84	
モンモリロナイト含有率(%)*1	61	45	70	64	65	71	60	
陽イオン交換容量(meq/100g)	65.7	62.7	79.7	73.8	67.4	82.8	62.1	
浸出陽イオン量(meq/100g)	Na ⁺	53.90	49.70	65.10	59.40	48.60	51.10	50.2
	K ⁺	1.40	3.00	2.40	1.80	2.00	2.70	2.9
	Mg ²⁺	1.70	3.70	7.00	5.20	8.40	9.90	18
	Ca ²⁺	20.60	79.70	46.50	50.20	28.40	37.10	38.9
Total	77.50	136.10	121.10	116.60	87.30	100.70	100.7	
主要構成鉱物*2	Mt, Qt, Pl, Cal, Pv	Mt, Qt, Zeo, Pl, Cal, Pv	Mt, Qt, Zeo, Pl, Py, Cal	Mt, Qt, Zeo, Pl, Py, Cal	Mt, Qz, Zeo, Pl, Pv	Mt, Qz, Pl	Mt, Cr, Zeo, Pl, Pv	

*1 モンモリロナイト含有率は各試料のメチレンブルー吸着量と精製モンモリロナイトのメチレンブルー吸着量140mmol/100gから求めた。

*2 主要構成鉱物はXRD、DTAにより求めた。ここで、Mt:モンモリロナイト、Qz:石英、Pl:長石、Zeo:沸石、Cal:方解石、Py:黄鉄鉱、Cr:クリストバライトである。

キーワード ベントナイト、原鉱石、粒状、締固め、塑性限界

連絡先 〒325-0013 栃木県黒磯市鍋掛 1085 クニミネ工業(株)黒磯研究所 TEL0287-64-1981

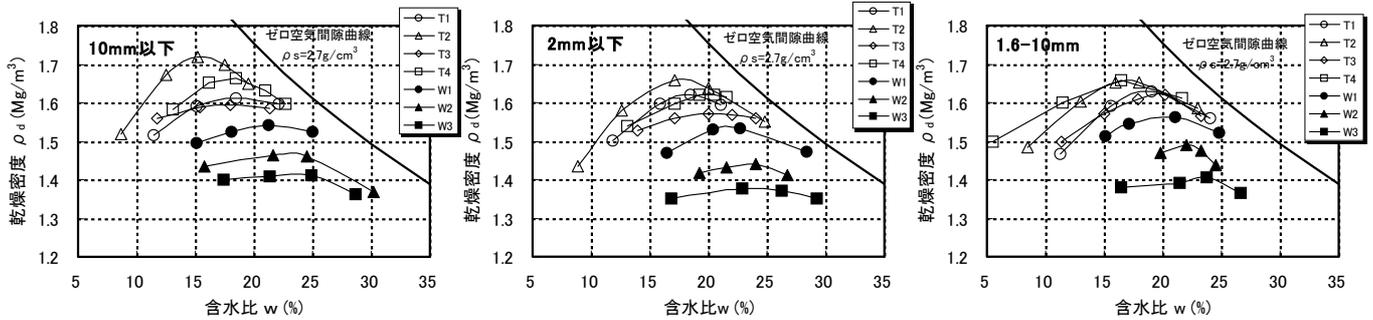


図1 各粒状ベントナイトの締固め曲線

図2は、原鉱石 T2から調整された粒径範囲 10mm以下の粒状ベントナイトの最適含水比調整直後の様子と、最適含水比で締固められた供試体およびその断面写真である。供試体断面を見ると10mm程度の大きさの粒子の存在も観察できる。しかし、供試体断面と含水比調整直後の試料を比較すれば、ランマーの打突により粒子の大部分は破碎されていることが分かる。以上の観察結果から、原鉱石から調整した粒状ベントナイトの動的な締固め特性が粒径範囲ではなく、その物理化学特性に影響されるのは、破碎によって生じた粒子が締固め過程において重要な役割を果たしているためと考えられる。

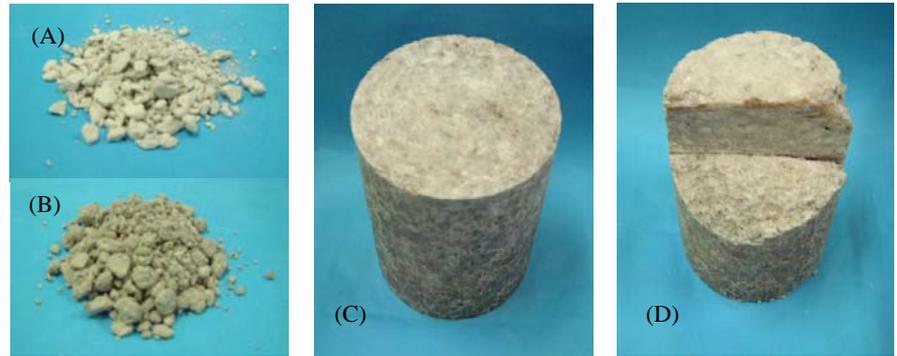


図2 原鉱石T2から調整した10mm以下粒状ベントナイトの締固め試験後の供試体写真 (A)加水前試料、(B)加水後試料、(C)締固め供試体、(D)締固め供試体の断面

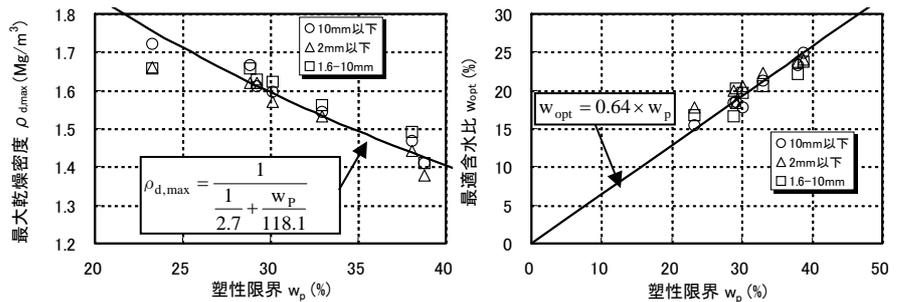


図3 粒状ベントナイトの締固め特性と塑性限界の関係
図中の式は評価式の適用結果である。

締固め曲線から得られた各試料の最大乾燥密度、最適含水比を、小峯、緒方(1991)²⁾において提案されている「塑性限界を導入した粘土の締固め特性の評価法」に適用した結果を図3に示す。ここで、ベントナイトの土粒子密度は2.7Mg/m³とし、塑性限界は原鉱石を乾燥粉碎することで得た試料の値(表2参照)を用いて評価を行った。また、評価の際には粒径の違いについて考慮していない。その結果、原鉱石から調整した粒状ベントナイトの最大乾燥密度、最適含水比は、その原鉱石の乾燥粉碎試料の塑性限界から推定できることが分かった。このことは、工学的分類上の粒径が礫や砂に相当するベントナイトの動的な締固め特性が、粘土粒子間の物理・化学的作用などの微視的要因によって支配されていることを裏付けるものであると考える。

4. まとめ

原鉱石を乾燥・粗砕することで調整した粒状ベントナイトの動的な締固め試験の結果、1)締固め特性は粒度分布ではなく原鉱石の物理・化学的特性に依存すること、2)最大乾燥密度、最適含水比は原鉱石の乾燥粉碎試料の塑性限界から推定できることが分かった。

【参考文献】

1)Fujita et al., (1997) 「Coupled thermo-hydro-mechanical experiment at Kamaishi mine technical note 11-96-04 Fundamental properties of bentonite OT-9607」 PNC TN8410 97-071、2)小峯秀雄、緒方信英(1991) 「塑性限界を導入した粘土の締固め特性の評価法の提案」 土木学会論文集 No.436/III-16. pp103-110