

ベントナイト・砂混合材料の力学試験及び力学的安定性検討

原子力環境整備促進・資金管理センター 正会員 竹ヶ原竜大 増田良一*
 日揮 正会員 高尾肇 上坂文哉
 ハザマ 正会員 千々松正和

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の処分において、緩衝材を施工する方法としては、種々の方法が考えられる。例えば、第2次取りまとめ¹⁾では、ブロック方式及び原位置締固め方式について検討が行われている。これら施工方式のうち、ブロック方式は分割数が施工時間に大きく影響を与えられ、施工方法に応じたブロック形状を設定する必要がある。そこで、本研究では、ブロック形状を設定するために必要なベントナイト・砂混合材料の成形体の力学特性データを取得することを目的に行った。また、得られた力学特性データから材料仕様とブロック形状（厚さ）の関係について考察した。

2. 試験材料

試験には圧縮成型したベントナイト単体及びケイ砂混合体の供試体を使用する。ベントナイトはクニゲルV1、ケイ砂は3号、3+5号、瓢屋製7号ケイ砂を用いた。

3. 試験方法及び試験条件

力学特性試験として、一軸圧縮強度を取得するために一軸圧縮試験を、引張り強度を取得するために圧裂試験を実施した。試験は、①試料調整、②供試体作製、③試験、④試験後含水比測定の手順で行った。一軸圧縮試験は地盤工学会基準 JGS T511 に、圧裂試験は JIS M 0303 に基本的に準拠した。

ベントナイトにはクニゲル V1 を、ケイ砂には瓢屋 7 号ケイ砂を基本に $\rho_d=1.8\text{g/cm}^3$ 、ベントナイト/ケイ砂混合率（以下、B:S）=7:3 に対しては、サイクル機構でのデータ¹⁾との比較を行うために 3 号、3+5 号のケースを実施した。乾燥密度は、1.6、1.7、1.8、1.9 g/cm^3 を設定した。B:S は、100:0、70:30、50:50、30:70 を設定した。供試体の寸法は、一軸圧縮試験が $\phi 50 \times h100\text{mm}$ 、圧裂試験が $\phi 50 \times h40\text{mm}$ である。裁荷速度は、一軸圧縮試験で 1 mm/min 、圧裂試験で 0.5 mm/min である。各ケイ砂混合率、乾燥密度における設定含水比を表 1 に示す。なお、試験は室温にて実施した。

4. 試験結果

図 1 にベントナイト含水比が 7%、12%、18%における有効粘土密度と一軸圧縮強度の関係を示す。有効粘土密度とは、供試体の砂の体積を除いてベントナイトのみの乾燥密度を求めた指標である。(1)式に有効粘土密度の計算式を示す。

$$\rho_b = \frac{\rho_d (100 - R_s)}{100 - \rho_d \frac{R_s}{\gamma_s}}$$

ここで γ_s はケイ砂粒子の単位体積重量で、 $\gamma_s=2.64\text{g/cm}^3$ である。

図より、有効粘土密度(ρ_b)と一軸圧縮強度(q_u)の関係は指数近似曲線によって表すことができ (2)式の通りである。

$$q_u = 8.5284 \times \exp(3.7084 \rho_b) \quad (2)$$

図 2 にベントナイト含水比が 7%、12%、18%における有効粘土密度と引張強度の関係を示す。図より、有効粘土密度(ρ_b)と引張強度(q_t)の関係は指数近似曲線によって表すことができ、(3)式の通りである。

表1 各ケイ砂混合率、乾燥密度における設定含水比

B:S	ρ_d (g/cm^3)	含水比 (%)
10:0	1.6	7,10,12,15,18,21,24
	1.7	10,12,15,18,21
	1.8	12,15,18
7:3	1.6	4.9,7,8.4,10.5,12,15,18,21,24
	1.7	4.9,7,8.4,10.5,12,15,18,21
	1.8	4.9,7,8.4,10.5,12,15,18
	1.9	4.9,7,8.4,10.5,12,15
5:5	1.6	3.5,6,9,12,15,18,21,24
	1.7	3.5,6,9,12,15,18,21
	1.8	3.5,6,9,12,15,18
	1.9	3.5,6,9,12,15
3:7	1.8	6,9,10,12
	1.9	6,9,10,12

キーワード 放射性廃棄物、ベントナイト、ブロック型緩衝材、一軸圧縮強度、引張強度

* 連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門2丁目8番10号 TEL03-3504-1506、FAX03-3504-1297、E-MAIL: masuda@rwm.or.jp

$$q_t = 0.0697 \times \exp(5.1467 \rho_b) \quad (3)$$

また、図3には、サイクル機構で取得された有効粘土密度と引張強度の関係式もあわせて示した。この式と本試験結果から得られた近似曲線(3)式との間には差異が見られ、今回の試験結果の方の強度が高くなっている。この差異の一因として、今回使用したベントナイト（クニゲルV1）中のモンモリロナイト含有量が、サイクル機構が使用したもの 비해、高かったことから^{1),3)}、モンモリロナイト含有量の違いが考えられる。すなわち、モンモリロナイト含有量が多いほど、締固まりにくくなり、同じ密度の供試体を作成するのに必要なエネルギーが大きくなり、その結果、強度が上昇したと考えられる。

5. 力学的安定性評価

力学試験により得られた試験結果をもとに、自重による引張応力により破損しない最大ブロック厚さの検討を行い、種々な材料仕様についてブロックが力学的に安定な範囲についての検討を行った。

圧裂試験により得られた試験結果（引張強度）をもとに、自重による引張応力により破損しない最大ブロック厚さについて検討を行った。自重による引張応力によって破損しない最大のブロック厚さは(4)式により評価できる。

$$h = \frac{q_t}{F \rho_d (1 + \omega) g} \quad (4)$$

ここで、 h ：自重による引張応力により破損しない最大ブロック厚さ(m)、 q_t ：引張強度(kN/m²)、 F ：安全率、 ρ_d ：乾燥密度(kg/m³)、 ω ：含水比(%)、 g ：重力加速度(m²/s)である。なお、安全率は2.0とした。検討結果の一例として、図3に、乾燥密度1.6g/cm³での含水比とブロック厚さの関係を示す。図3より、ケイ砂混合率が低いほどブロックを厚くできることが分かる。例えば、最適含水比付近（B:Sに関わらず約10%）におけるブロック厚さは、B:Sが10:0、7:3及び5:5でそれぞれ、約8m、3m及び1mとなる。

6. 今後の予定

ベントナイト・砂混合材料の種類にかかわらず、力学特性を統一的に評価できる体系が構築されれば、効率的に材料選定を行うことができる。そのために、種々なベントナイトやケイ砂を用いた試験を行いデータを蓄積するとともに、定置技術との関係を明確にしていく予定である。なお、本報告書は経済産業省からの委託による「地層処分技術調査等」の成果の一部である。

【参考文献】

- 1)核燃料サイクル開発機構(1999)：わが国における高レベル放射性廃棄物処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ、分冊2地層処分の工学技術、JNC TN1400 99-022、2)高治一彦、鈴木英明(1999)：緩衝材の静的力学特性、JNC TN8400 99-041、3)高尾ら(2002)：ベントナイトペレットの特性試験(その2)-ベントナイトペレットの熱物性および膨潤特性-、第57回土木学会年次学術講演会

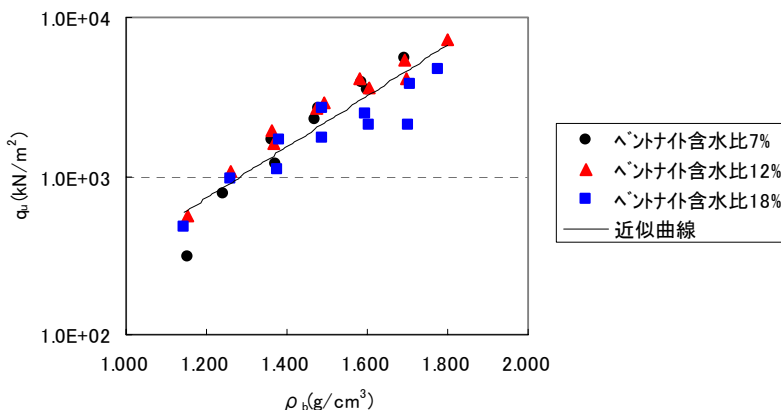


図1 有効粘土密度と一軸圧縮強度の関係

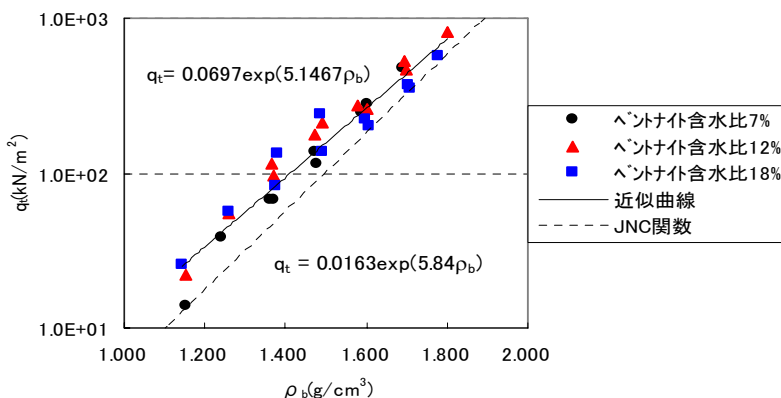


図2 有効粘土密度と引張強度の関係

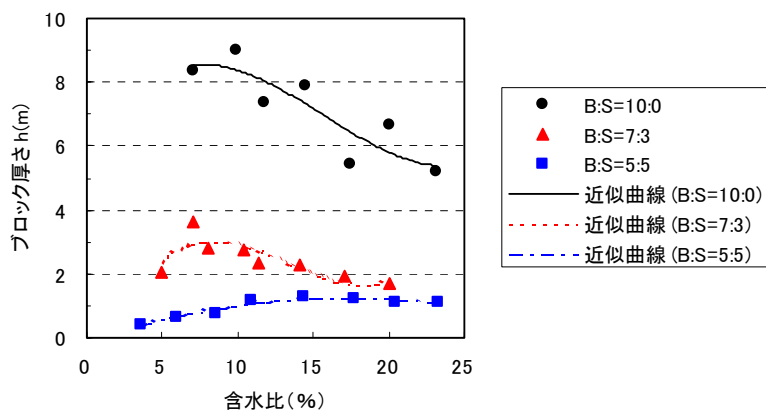


図3 含水比とブロック厚さの関係 ($\rho_d = 1.6 \text{ g/cm}^3$)