

Na 型・Ca 型および混合ベントナイトの膨潤特性に及ぼす締固め度の影響

新潟大学 学生会員 ○名雪祥文 新潟大学 正会員 金澤伸一
新潟大学 学生会員 市川希 新潟大学 学生会員 飯田輝良

1. はじめに

地層処分において、ベントナイト緩衝材は低透水性や膨潤特性を有することから、人工バリアの重要な構成材料として用いられている。特に膨潤圧は、廃棄体周辺の空隙の充填による地下水移行の抑制や、岩盤の変形による生じる応力の緩衝機能を担うため、緩衝材の長期性能を評価する上で重要な指標である。

Na 型ベントナイトは地下水中のカルシウムイオンとの陽イオン交換反応によって Ca 型ベントナイトへと変質する可能性が指摘されている¹⁾。このような変質は膨潤性能に影響を及ぼすが、Na 型および Ca 型ベントナイトの混合状態における膨潤特性については十分な知見が得られていない。

本研究では、Na 型ベントナイトのクニゲル V1（以下、KV）、Ca 型ベントナイトの三川産ベントナイト（以下、MG）の混合比率を変えた試料を用いた膨潤力試験、膨潤圧試験および締固め試験を実施し、Ca 型比率が膨潤特性に及ぼす影響を検討した。

2. 試験条件・方法

2.1 試験試料

Na 型ベントナイトのクニゲル V1（KV）および Ca 型ベントナイトの三川産ベントナイト（MG）を使用した。試料の含水比を 10 %を目標に調整後、質量比で KV : MG = 10 : 0, 7 : 3, 5 : 5, 3 : 7, 0 : 10 の 5 条件の試料を作製した。

2.2 供試体の作製方法

膨潤圧試験に用いる供試体は、直径 28 mm、高さ 10 mm の円柱供試体とし、第 2 次取りまとめの緩衝材の作製条件をもとに乾燥密度は 1.4 Mg/m³とした²⁾。

供試体は高さが 10 mm となる圧力を油圧ジャッキにより作用させ、10 分間静的に締め固めた。その後、モールドと一体の供試体を試験セルへ設置し、0.5 kN の鉛直荷重を作用させた。25 °C に温度管理したイオン交換水を供給・循環させ、約 120 時間にわたり膨潤圧を測定した。

2.3 膨潤力試験

含水比 10 %を目標に調整した試料を粉末状態で用いた。蒸留水 100 mL を入れたメスシリンダーに試料 2.0 g を投入し、24 時間後の体積を測定した。各ケース 3 回測定を行い、その平均値を膨潤力とした。

2.4 締固め試験

KV 単体（KV : MG = 10 : 0）、KV : MG = 5 : 5 および MG 単体（KV : MG = 0 : 10）の 3 条件を設定し、JISA 1210:2020「突固めによる土の締固め試験方法」に準拠した。

3. 結果および考察

3.1 膨潤力試験結果

各条件における膨潤力試験結果を表-1 に示す。試験の結果、MG の混合比率の増加に応じて膨潤力は単調に減少した。KV 単体では 19.5 mL/2g、KV : MG = 7 : 3 では 18.2 mL/2g、KV : MG = 5 : 5 では 12.2 mL/2g、KV : MG = 3 : 7 では 9.5 mL/2g、MG 単体では 5.0 mL/2g となった。これは Na 型ベントナイトである KV が MG よりも高い膨潤性能を有するためであると考えられる。以上より、混合ベントナイトの膨潤特性は混合比率に強く依存し、Na 型ベントナイトの割合が高いほど大きな膨潤力を発現することが示された。

3.2 締固め試験結果

締固め試験結果を表-1 に示す。最大乾燥密度は KV 単体で 1.383 Mg/m³、KV : MG = 5 : 5 で 1.202 Mg/m³、MG 単体で 1.169 Mg/m³となり、KV 単体で最も大きく、MG 単体が最も小さい値となった。5 : 5 混合試料は中間的な値ではなく MG 単体に近い値を示した。このことから、MG は KV と比較して締固め性が低く、混合試料の締固め特性には MG の混合比率が比較的強く影響することがわかった。膨潤力試験では MG 混合比率の増加に伴う膨潤力の低下が確認されており、締固め特性と膨潤特性への混合比率が及ぼす影響には一定

の関連がある可能性が示唆された。

3.3 膨潤圧試験結果

各条件における膨潤圧の経時変化を図-1 に示す。膨潤力試験では KV の混合比率が増加するにつれて膨潤圧が増加したことから、膨潤圧についても同様の傾向が考えられるが、本研究の膨潤圧試験結果では混合比率に対応した明瞭な傾向は確認されなかった。KV : MG = 5 : 5 の混合比率の膨潤圧が最も大きいが、結果にはばらつきが認められるため、混合比率 5 : 5 試料が最も高い膨潤圧を示すと結論づけることはできない。

膨潤力試験では混合比率に対する膨潤力の違いが明確に確認された一方で、膨潤圧試験結果ではばらつきが大きくなった要因として、試験条件の違いが考えられる。膨潤力試験は粉末状の試料を用いるのに対し、膨潤圧試験では試料を圧縮成形後に一度除荷し、試験時に試験機上部から再び圧力を与える。締固め試験の結果より、混合比率によって締固め特性が異なることから、除荷した際のリバウンド量が異なる可能性があり、それにより試験時の乾燥密度がケースごとに異なることが考えられる。

以上より、本研究の範囲では膨潤圧と混合比率との明確な関係は確認できず、膨潤圧の傾向把握のためにはベントナイト自体の膨潤性能だけでなく、供試体作製条件や試験条件の影響も考慮する必要があると考えられる。

4. おわりに

本研究では、KV と MG を異なる割合で混合し、膨潤力試験、締固め試験および膨潤圧試験を実施した。

膨潤力試験の結果、MG 混合率の増加に伴い膨潤力は単調に減少した。混合ベントナイトの膨潤特性は混合比率に強く依存することが確認された。

締固め試験では、KV 単体が最も高い最大乾燥密度を示し、MG 単体が最も低い値を示した。また、KV : MG = 5 : 5 の混合試料は MG 単体に近い最大乾燥密度を示し、締固め特性には MG の影響が比較的強く現れる可能性が考えられた。

一方、膨潤圧試験では混合比率に対応した明瞭な傾向は確認されなかった。この要因として、供試体の作製過程や試験機の設定・管理の改良が課題となった。

今後は試験方法の改良を行い、膨潤圧試験の繰返し

表- 1 各試験結果

試験結果一覧					
MG 混合率 (%)	0	30	50	70	100
膨潤力試験 (mL/2g)	5.0	9.5	12.2	18.2	19.5
最大乾燥密度 (g/cm ³)	1.383	—	1.202	—	1.169
最適含水比 (%)	29.0	—	35.8	—	36.5

※ 「—」 は空白を示す

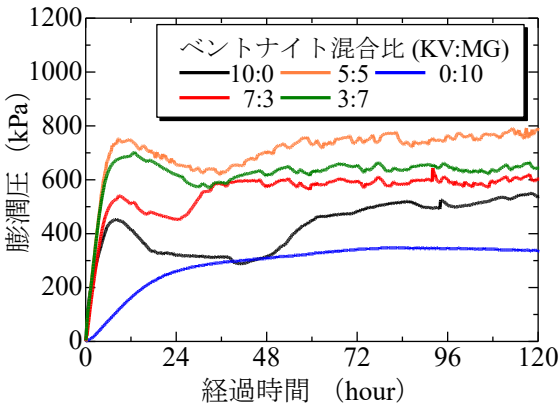


図- 1 膨潤圧試験結果

試験による再現性の確認に加え、メチレンブルー吸着試験によるモンモリロナイト含有量の違いについても検討する予定である。供試体の作製方法については、混合比率ごとの成型後のリバウンド量と膨潤圧の関係を測定し、膨潤圧をより精緻に測定する手法を検討する。

5. 参考文献

1) 核燃料サイクル開発機構：『わが国における高レベル放射性廃棄物地層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, 1999.

2) 石井卓, 伊藤雅和, 中島均, 菅原大, 江俊昭, 田征弥 (1998), 粘土科学, 38 (1), 10-22.