

低膨潤型ベントナイト砕石(NB工法)に関する一考察

(一社)NB 研究所 正会員 ○成島 誠一, 氏家 伸介
(一財)地域地盤環境研究所 正会員 藤原 照幸

1. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所事故に由来する放射性物質を含む廃棄物は、放射性物質汚染対処特措法に準じ不透水性土壌層および側方土壌としてベントナイト混合土のような母材選定、混合ムラや品質のバラツキなどが無いベントナイト砕石(以下NB)を敷設しながら埋設される予定である¹⁾。これは、管理型処分場を活用した特定廃棄物の埋立処分事業の対応について環境省復興庁から図-1に示した構造で検討されており、ベントナイトの膨潤が不透水性土壌層の側方および最終覆土下層の廃棄物層や最終覆土の不陸や不等沈下の要因となることが懸念される。そこで本論では、低膨潤型ベントナイト砕石を新たに開発し、透水係数や膨潤圧に関して従来のNBと比較検討をおこなったのでそれらの知見について述べる。

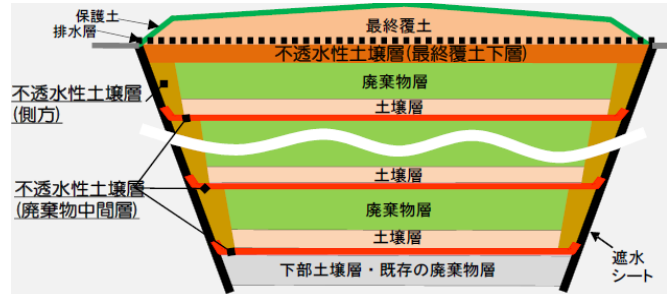


図-1 特定一般廃棄物埋設構造

た構造で検討されており、ベントナイトの膨潤が不透水性土壌層の側方および最終覆土下層の廃棄物層や最終覆土の不陸や不等沈下の要因となることが懸念される。そこで本論では、低膨潤型ベントナイト砕石を新たに開発し、透水係数や膨潤圧に関して従来のNBと比較検討をおこなったのでそれらの知見について述べる。

2. 低膨潤型ベントナイト砕石諸元

試験に用いた試料は表-1に示すように、既に不透水性土壌層や最終処分場遮水構造として実績がある²⁾従来型ベントナイト砕石を試料C、低膨潤型ベントナイト砕石を試料A、試料Bである。国産の試料B、試料Cにおいては鉱山の近傍ではあるものの採掘層に相違があり、また砕石プラントが異なるため試料Aは9.5mm以下、試料Bおよび試料Cは26.5mm以下の粒度で製造されている。最大乾燥密度 ρ_{dmax} は3試料とも概ね $\rho_{dmaxA\sim C}=1.2\sim 1.4\text{g/cm}^3$ であるが国産試料B~Cが最適含水比 $\omega_{optB\sim C}=28.7\sim 35.4\%$ であるのに対し海外産試料Aは、最適含水比 $\omega_{optA}=16.7\%$ と著しく低い傾向を示した。これは、ベントナイト砕石の締固め曲線で通常見られる高含水比側のピークが不明瞭であったため乾燥側のピークを最適含水比としたためである。今後施工性を考慮したうえでコーン指数 $q_c \geq 1,200\text{kN/m}^2$ を指標として含水比の範囲を設定することで施工性を確保することを考えている。一方、各試料の粒度分布を図-2に示す。粒度の良さは、表-2に示すように均等係数 U_c は試料B、試料C、試料Aの順であった。これは、産地によるベントナイト鉱脈の状態、製造工程に係る砕石プラントの性能、各産地に採掘されるベントナイト原鉱の自然含水比や強度によるものと推察している。

表-1 試料諸元

| 原鉱 | 試料A | 試料B | 試料C | |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 原産地 | 海外産 | 国産 | 国産 | |
| 最大粒径(mm) | 9.5 | 26.5 | 26.5 | |
| 最大乾燥密度(g/cm ³) | 1.218 | 1.263 | 1.377 | |
| 最適含水比(%) | 16.7 | 35.4 | 28.7 | |
| 膨潤力(ml/2g) | 7.0 | 6.5 | 10.5 | |
| メチレンブルー吸着量(mmol/100g) | 79 | 59 | 45 | |
| 浸出陽イオン量(meq/100g) | Ca | 83.92 | 91.56 | 63.47 |
| | Na | 7.41 | 9.90 | 46.62 |
| 浸出陽イオン量比 | Ca/Na | 11.33 | 9.25 | 1.36 |

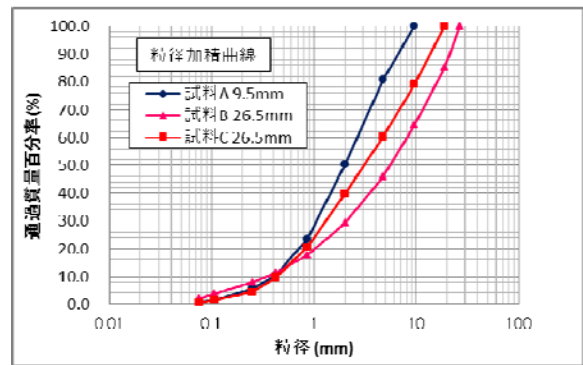


図-2 粒径加積曲線

表-2 均等係数

| 原鉱 | 試料A 9.5mm | 試料B 26.5mm | 試料C 26.5mm |
|------------|-----------|------------|------------|
| 均等係数 U_c | 6.59 | 23.20 | 10.81 |

キーワード ベントナイト砕石, 膨潤圧, 指定廃棄物処分場, 透水係数

連絡先 〒105-0004 東京都港区新橋 1-18-14 新橋 MM ビル 4F (一社)NB 研究所 TEL 03-3503-4861

3. 低膨潤型ベントナイト砕石透水係数の検討

環境省では、不透水性土壌層の透水係数は $k \leq 1 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ であることから要求性能は少なくともこの透水係数以下であることが求められる。試料毎の透水係数は剛壁型透水試験機で JIS A 1218 に準拠して測定したものであり、結果を図-3 に示す。

この結果、実績のあるベントナイト砕石国産試料 C の透水係数は $k_c = 2 \times 10^{-11} \text{ m/s}$ で上述の基準より少なくとも 2 オーダー透水係数が低い。次に低膨潤型国産試料 B の透水係数は $k_B = 2 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ であり海外産試料 A の透水係数は $k_A = 1 \times 10^{-11} \text{ m/s}$ であった。このように試料 A が低膨潤型であるにもかかわらず試料 C と同等水準の透水係数を示したのは、最大粒径を小さくしたことで最大間隙径が小さくなり水みちの閉塞性が向上したこと、さらにメチレンブルー吸着量が試料 C の 1.7 倍と高いことから、モンモリロナイト密度の高さも透水係数の確保に寄与したものと考えられる。一方締固め密度 $D_c=90\%$ 時の国産試料 B の透水係数は試料 A, C と比較し 1 オーダー高く環境省から要求されている透水係数は満たしているものの明らかに遮水性能の低下が認められた。

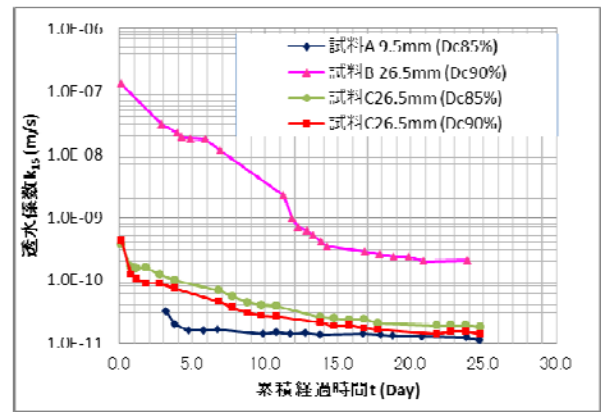


図-3 各試料透水係数の推移

4. 低膨潤型ベントナイト砕石の膨潤圧の検討

各試料膨潤圧の推移を図-4 に示すとおり経過時間 1 3 日後における実績ある試料 C の膨潤圧は、 $\sigma_{C13}=330 \text{ kN/m}^2$ であった。一方低膨潤型ベントナイト砕石とした試料 B の膨潤圧は、 $\sigma_{B13}=140 \text{ kN/m}^2$ であり、試料 A の膨潤圧は、 $\sigma_{A13}=90 \text{ kN/m}^2$ であった。以上から少なくとも実績のある従来型より膨潤圧が国産もので半分以下、海外産で 1/3 以下であることがわかった。

このことから従来のベントナイト砕石試料 C より膨潤による不陸や不等沈下は軽減されるものとする。たとえば、試料 A の膨潤圧 $\sigma_{B13}=90 \text{ kN/m}^2$ が均衡する上載荷重は 9 t/m^2 であるが空隙を 10%程度確保すれば膨潤圧は 55%程度減少することがわかっている³⁾ので上載覆土が砕石など空隙の多い材料を適用すれば上載覆土 4 t/m^2 となり覆土厚さ 2m 程度で均衡するものとする。今後の課題として実際に NB 上層に覆土をおこない従来型 NB との膨潤圧による不陸や不等沈下の軽減を観察しその有効性を検討したい。

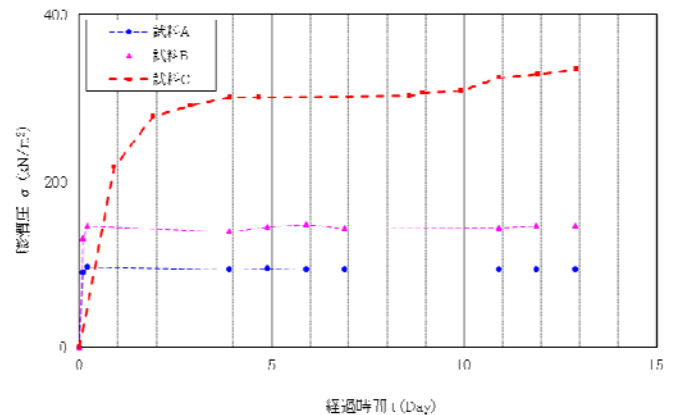


図-4 各試料膨潤圧の推移

5. まとめ

本論では、東京電力福島第一原子力発電所事故に由来する放射性物質を含む廃棄物を埋設するにあたり不透水性土壌層の膨潤による上層覆土の不陸や側方土壌適用時の不等沈下の懸念について、従来型 NB と同等の透水係数を確保し膨潤圧を半分以下に低減できることを示唆した。従来型 NB はこれまで廃棄物処分場の土質系遮水構造や指定廃棄物の隔離層、特定一般廃棄物の最終処分に係るオーバーキャッピングなど多くの実績を重ねてきたが、その実績は遮水としてのものであり低膨潤型 NB では、さらに上層荷重が小さい構造での適用が考えられる。今後実規模試験などによりその効果を確認し早期に実用化を進めたい。

【参考文献】

- 1) フクシマエコテッククリーンセンター埋立処分実施要項(案) 環境省,p95,2015
- 2) 新井靖典, 成島誠一, 水野正之 実施工におけるナチュラルブランケット工法の品質評価事例第 50 回地盤工学研究発表会,P2359~2360 2015
- 3) 成島誠一, 遠藤和人, 水野正之 ベントナイト砕石工 (NB 工法) の膨潤特性を考慮した設計手法の一考察 第 49 回地盤工学研究発表会,P2009~2010 2014