

カルシウム型ベントナイト混合土の締固め特性と塑性限界の関係について

クニミネ工業（株） 正会員 ○諸留 章二

1. 背景・目的

浅地中放射性廃棄物処分場の難透水性覆土材としてカルシウム型ベントナイトの使用が検討されている。このベントナイト混合土のベントナイト配合率は30%程度であり比較的低配合である。Ito and Komine (2008) では、高レベル放射性廃棄物処分に用いる人工バリア材としてのナトリウム型ベントナイトについてベントナイト配合率50%以上での混合土の締固め特性と塑性限界を結び付けた施工管理方法の提案が行われている⁽¹⁾。本研究では上記文献に倣いカルシウム型ベントナイトを用いて100%から10%の幅広い配合率でのベントナイト混合土の締固め特性と塑性限界の関係を調査した。さらに、塑性限界状態の乾燥密度を直接測定することにより、この関係について混合土の組織構造から議論することを目指した。

2. 試料

本試験にはカルシウム型ベントナイトとしてクニミネ工業製クニボンドを用いた。クニボンドの一般物性値を表-1に示す。混合土に使用した母材は珪砂3号と5号を重量比1対1で混合した珪砂を用いた。ベントナイト配合率は10、15、20、30、50、70、100%の7種類とした。

3. 試験内容

締固め試験(JIS A 1210)は同配合率のベントナイト混合土に対して3種類の締固めエネルギーで実施した。締固めエネルギー E_c ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$)は551(A-c法)、1102(A-c法の突き固め回数を2倍)、2480(C-c法)とした。水簸により精製したクニボンドのメチレンブルー吸着量は $160\text{mmol}/100\text{g}$ と報告されているため⁽²⁾、160を基準に有効モンモリロナイト密度を求めた。塑性限界試験(JIS A 1205)では試料を $425\mu\text{m}$ の振るいを通過させる必要があるため、本試験では予め粉碎した母材にベントナイトを混合し試験を実施した。また、締固め特性と塑性限界を本質的に結びつけるためには塑性限界状態の含水比だけでなく乾燥密度も知ることが必要と考え、塑性限界の乾燥前の直径3mmの試験体をエタノールを入れた直径5mmのビュレット管に投入する方法で体積を測定し、乾燥密度を算出した(写真-1)。

表-1 クニボンドの一般物性値

試料名		クニボンド
水分	(%)	12.5
膨潤力	(ml/2g)	6
pH		8.6
導電率	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	118
メチレンブルー吸着量	(mmol/100g)	114
浸出陽イオン (meq/100g)	Na^+	8.4
	K^+	2.2
	Mg^{++}	15.6
	Ca^{++}	54.3
	Total	80.5
陽イオン交換容量	(meq/100g)	83.7



写真-1 塑性限界の試料体積測定方法

4. 結果・考察

締固め試験の結果、ベントナイト配合率15%で最大乾燥密度は最も高くなり、配合率の増大と共に最大乾燥密度は低下した。各配合率及び各締固めエネルギーでの最適含水比と最大乾燥密度を図-1に示す。最大乾燥密度は締固めエネルギーの上昇と共に高くなる。最大乾燥密度の飽和度は約85%である(図-1)。

キーワード Ca型, 塑性限界, ベントナイト混合土, 放射性廃棄物処分, 締固め特性, 組織構造

連絡先 〒101-0032 東京都千代田区岩本町1丁目10番5号(T.M.Mビル) TEL03-3866-7251 FAX03-3866-2256

塑性限界はベントナイト配合率の低下と共に低下するが、配合率 50%未満では低下が緩やかになる (図-2)。配合率 15%及び 10%は N.D.である。塑性限界状態の飽和度は約 80%程度で (図-2)、最大乾燥密度状態の飽和度と同等であるため (図-1)、塑性限界と締固め特性の間の物理的な関係性が示唆される。また、Ito and Komine (2008) と同様に K 値と E_c の関係式を導くことで、各締固めエネルギーでの塑性限界と最大乾燥密度及び最適含水比の関係式を得た。図-3 と図-4 に締固めエネルギー 551 ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$) の結果を示す。関係式はベントナイト配合率 50%以上では実験値をよく再現しているが、50%未満では塑性限界が緩やかに減少するため実験値から大きく外れていることがわかる。この傾向は他の締固めエネルギーの結果でも同様であった。

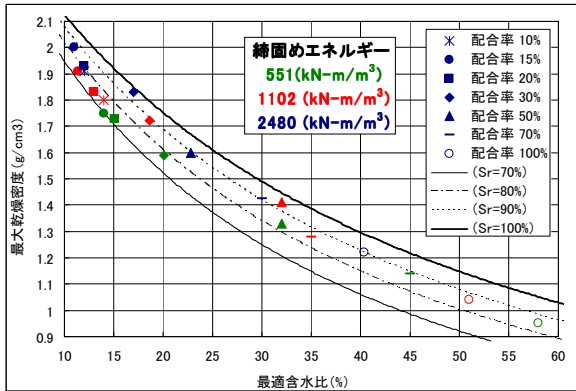


図-1 最適含水比と最大乾燥密度の関係

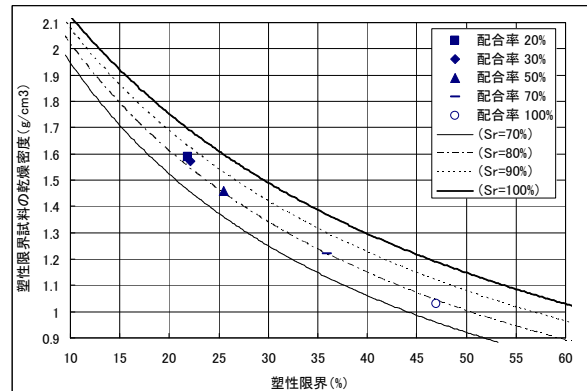


図-2 塑性限界と試料乾燥密度の関係

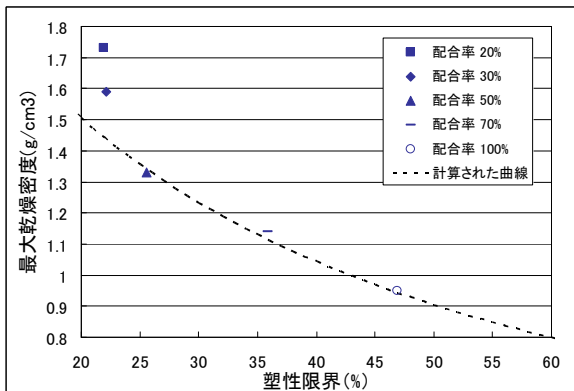


図-3 塑性限界と最大乾燥密度の関係

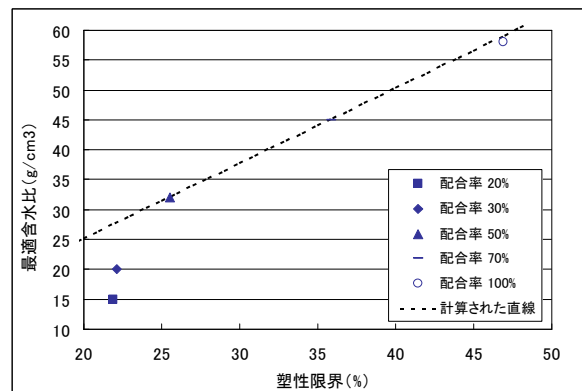


図-4 塑性限界と最適含水比の関係

5. まとめ

Ca 型ベントナイトを用いて締固め特性と塑性限界の関係を調査した。塑性限界状態の乾燥密度を測定することで、最大乾燥密度と塑性限界状態の飽和度が同等であることが明らかとなり、塑性限界試験による締固め試験の簡易代用可能性が示唆された。配合率 50%以上では得られた関係式は実験値をよく再現したが、低配合では母材の影響を受け塑性限界と配合率が比例関係でなくなり実験値から大きく外れた。幅広い配合率を一つの関係式で評価することは困難であるが、配合率 30%付近でのみ成立する式を作成し管理に用いることは可能かもしれない。Na 型に比べて Ca 型ベントナイト混合土の塑性限界は高い傾向にあるが、これは膨潤特性の違いによるものであり⁽³⁾、そのため同一乾燥密度であっても締固めた混合土の膨潤圧や透水特性が異なると考えられる。発表当日には Na 型での結果も併せて報告し、さらに X 線回折測定を用いて塑性限界と最大乾燥密度状態でのモンモリとナイトの層間距離を測定することで、各条件での膨潤状態から組織構造を考察したい。

参考文献

- (1) Ito, H. and Komine, H. (2008) Dynamic compaction properties of bentonite-based materials. *Engineering Geology*, **98**, 133-143.
- (2) 諸留と伊藤 (2011) X 線内部標準法によるベントナイトの鉱物定量について 第 55 回粘土科学討論会 講演要旨集 162 P5.
- (3) Morodome, S. and Kawamura, K. (2009) Swelling behavior of Na- and Ca-montmorillonite up to 150° C by *in situ* X-ray diffraction experiments. *Clays and Clay Minerals*, **57**, 150-160.