

性質の異なる砂を用いたベントナイト混合土の透水性影響検討

日本原燃株式会社 正会員 ○伊藤裕紀, 工藤淳, 齊藤康明
安藤ハザマ 正会員 千々松正和, 伊藤歩夢

1. はじめに

浅地中処分施設の難透水性覆土は、放射性物質の生活環境への移行を抑制するため、長期に亘り低透水性が要求される。そのため、施工時の目標透水係数は、施工誤差の不確実性に加え、地震力等の力学挙動に伴う密度低下や化学変質に伴う性能低下を考慮し、 1×10^{-10} m/s 以下とする計画である。また、難透水性覆土は、ベントナイトに砂を混合した材料構成になっており、施工時の目標透水係数を合理的に達成するため、砂の混合比率を約 70%（質量比率）程度まで高めたベントナイト混合土としている。そのため、透水性は、砂の粒度や粒径など性質の影響を受けることが懸念されることから、性質の異なる砂を使用し、ベントナイト混合土の透水係数に与える影響について検討したので、その結果を報告する。

2. 材料選定および材料基本特性

2-1. ベントナイト

ベントナイトは、浅地中処分施設のセメント系材料から溶出したカルシウムイオンや廃棄物に起因する硫酸イオン等による長期化学変質を考慮し、化学抵抗性が高い Ca 型ベントナイト 2 種、膨潤性に優れ施工直後における初期の透水性が極めて低い Na 型ベントナイト 1 種について検討した。表 1 にはベントナイトの基本特性を示す。Ca 型ベントナイトであるベントナイト A および B は膨潤力が小さいが、ベントナイト B は A に比べ Ca の浸出陽イオン量に対し Na の浸出陽イオン量が大きい。また、ベントナイト A のモンモリロナイト含有率は選定ベントナイト 3 種の中で最も高かった。Na 型ベントナイトであるベントナイト C は膨潤力が大きく、モンモリロナイト含有率はベントナイト B と同等程度であった。

2-1. 砂

砂の選定は、締固め性および短絡経路形成の観点から、砂の形状と粒度が透水性に影響を与えることを想定し、陸砂 2 種、珪砂 2 種、砕砂 2 種について検討した。表 2 に選定砂の一覧を示す。表 3 および図 1 には実施した各種試験のうち主要な基本特性として凹凸係数 FU および粒度試験結果を示す。凹凸係数 FU は粒子投影断面積 A を外周長 L の 2 乗で割った形状係数 $f=A/L^2$ を円の形状係数 $f_c=1/4\pi$ で除した係数 $FU=f/f_c=4\pi A/L^2$ で表され、凹凸が大きくと外周長が長くなる程小さくなる係数であるが、人造珪砂である三河珪砂やコンクリート細骨材用の砕砂（石灰石、玄武岩）は、製造時の破碎により角張った形状をしており FU は小さい。一方、鹿島珪砂や三沢砂は、河川の流れにより粒子同士がぶつかり合い、角が少なく丸みを帯びた形状から FU は大きい。

キーワード：放射性廃棄物、浅地中ピット処分、ベントナイト混合土、透水係数

連絡先：〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村大字尾駈字沖付 4-108 TEL:0175-71-2000 FAX : 0175-72-3226

表 1 ベントナイトの基本特性

測定項目	ベントナイトA	ベントナイトB	ベントナイトC	
メレンブル吸着量 MBC(mmol/100g)乾燥試料	132	79	81	
メレンブル吸着量 MBC(mmol/100g)湿潤試料	132	80	80	
モンモリロナイト含有率(%) (モンモリロナイト=150mmol/100gと仮定)	88.0	52.7	54.0	
土粒子密度(Mg/m ³)	2.635	2.524	2.710	
陽イオン交換容量 CEC (meq/100g)	56.0	43.7	43.7	
含水比(%)	22.5	9.8	12.0	
浸出陽イオン量 (meq/100g) 酢酸アモニウム法	Na ⁺	2.6	5.1	57.0
	K ⁺	3.5	3.3	3.3
	Ca ²⁺	45.7	20.6	47.9
	Mg ²⁺	16.5	18.7	2.2
	Total	68.2	47.7	110.4
浸出陽イオン量 (meq/100g) SFSA 法	Na ⁺	11.1	16.3	106.1
	K ⁺	6.9	5.6	2.3
	Ca ²⁺	74.1	25.2	11.3
	Mg ²⁺	44.1	40.5	2.6
	Total	136.2	87.6	122.3
Na ⁺ /Ca 比 (酢酸アモニウム法)	0.06	0.25	1.19	
Na ⁺ /Ca 比 (SFSA 法)	0.15	0.65	9.41	
膨潤力 (ml/2g)	6.5	7.0	17.6	

表 2 試験用選定砂

分類	砂
陸砂	三沢砂
	むつ砂
珪砂	三河珪砂
	鹿島珪砂
砕砂	玄武岩
	石灰石

表 3 凹凸係数 FU 測定結果

材料	凹凸係数 FU
三沢砂	0.772
むつ砂	0.745
三河珪砂	0.725
鹿島珪砂	0.818
玄武岩	0.708
石灰石	0.710

人造珪砂として粒度調整された珪砂の粒度分布は急な曲線を示しており粒度が悪く、玄武岩は粒径が大きい砂の割合が多い。その他の砂は、概ね JIS A5005 コンクリート用砕石および砕砂で規定された範囲にある。

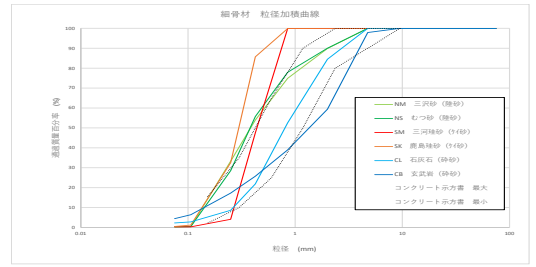


図1 各砂の粒径加積曲線

3. 締固め試験結果

ベントナイトおよび砂の種類をパラメータとし、ベントナイトの混合率は難透水性覆土の設計仕様を参考に、Ca型ベントナイトを使用した混合土A、Bは30%、Na型ベントナイトを使用した混合土Cは20%で締固め試験および透水試験を実施した。締固め試験結果を図2に示す。混合土Cの最大乾燥密度は、砂の種類によらず相対的に大きく、Na型ベントナイト混合土の締固め性は良いことが分かる。母材である砂の影響として、三沢砂や石灰石、玄武岩を混合したケースは最大乾燥密度が高く、三河珪砂を混合したケースは最大乾燥密度が低い、これは砂の粒度が影響しているものと推察される。

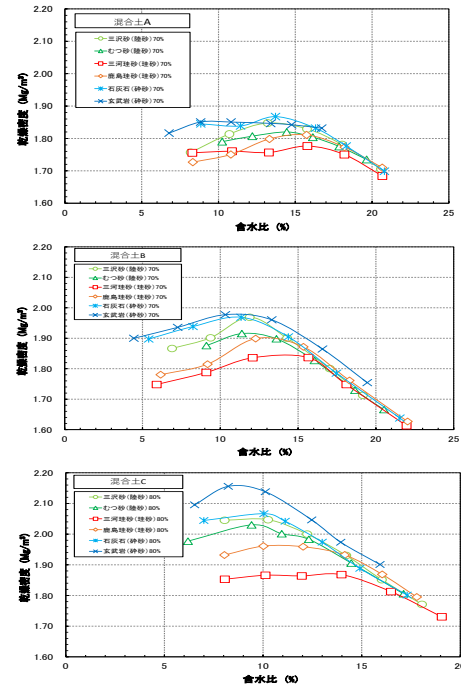


図2 各ベントナイト混合土の締固め試験結果

4. 透水試験結果

透水試験に用いた供試体は、締固め試験結果から得られた最適含水比 (ω_{opt})、最大乾燥密度 (ρ_{dmax}) で製作した。透水試験結果を図3に示す。Na型ベントナイトを使用した混合土Cは、Ca型ベントナイトを使用した混合土A、Bと比較し透水係数は小さい。また、三沢砂や鹿島珪砂のように凹凸係数 FU が大きく丸みを帯びた砂を使用した混合土の透水係数は小さく、三沢砂を用いたベントナイト混合土は、何れのベントナイトにおいても最も小さい透水係数を示した。一方、三河珪砂のように凹凸係数 FU が小さく角張った砂を使用した混合土の透水係数は大きい。さらに、石灰石および玄武岩を使用した混合土の透水係数は、ベントナイトの種類により傾向が異なり、混合土 B、C の透水係数はその他砂と比較し大きく、混合土 A は同等程度であった。図4には既往の有効モンモリロナイト密度と透水係数の関係を示した図に本研究のデータを示す。本研究で得られた透水係数は既往の結果と整合した結果となった。

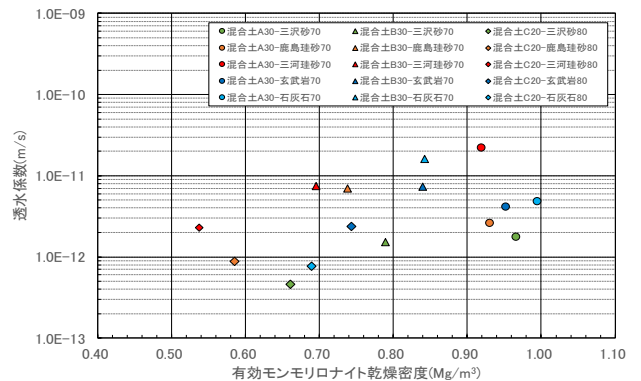


図3 各ベントナイト混合土の透水試験結果

5. まとめ

難透水性覆土の透水性は、ベントナイトの種類によらず砂の粒度、粒形、微粒分量など性質の影響を受け、その影響度はベントナイトの種類により異なる。よって、難透水性覆土の仕様設計においては、砂の性質とベントナイト種類の組合せに留意し要求機能に照し合せた材料選定が重要になる。

- 【参考文献】1) 伊藤ほか：低配合ベントナイト混合土の長期状態変化を踏まえた設計手法に関する一考察：第65回年次学術講演会講演概要集，土木学会，CS7-017，pp.33~34，2010
 2) 伊藤ほか：品質の異なるベントナイトを用いた覆土材の検討：第74回年次学術講演会講演概要集，土木学会，VII，pp.166，2019

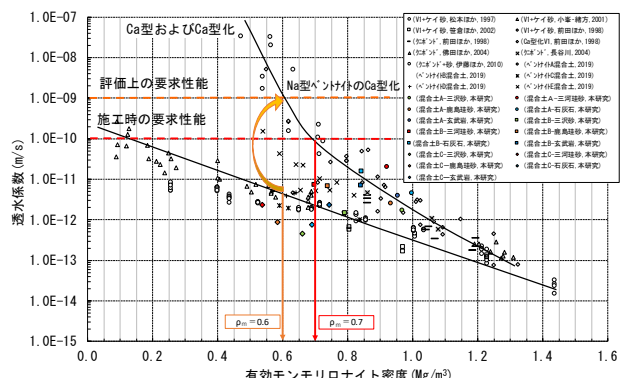


図4 有効モンモリロナイト密度と透水係数の関係