

砂・ベントナイト混合土における遮水性能のトラベルタイムによる評価

茨城大学 学生会員 ○伊藤 紗由未

早稲田大学 正会員 小峯 秀雄

茨城大学 正会員 村上 哲

1. はじめに

福島第一原子力発電所事故により発生した放射性物質汚染土壌の中間貯蔵施設の建設が急務となっている。この中間貯蔵施設における遮水工には、施設内への地下水の浸入を抑制する性能が要求され、汚染土壌の 30 年間周辺環境との隔離が求められている¹⁾。このような観点から本施設の最も重要な構造部材である遮水材として有望視されている砂・ベントナイト混合土の透水特性を把握することは重要である。一方、最近では福島第一原子力発電所内の地下貯水槽において汚染水漏洩問題が起き、ベントナイト系遮水材の信頼性に関する問題を払拭するため、汚染水が漏洩するまでにかかる時間をトラベルタイムにより算出し、定量的に示した報告もある²⁾。本研究は、遮水材として有望視されている砂・ベントナイト混合土の透水係数を得るため、供試体寸法を直径 60mm、高さ 20mm とした剛壁型の小型変水位透水試験を製作し、ベントナイト配合率 10%, 20% および 30% に対して試験を実施した。得られた透水係数からトラベルタイムを算出し、環境省の通達¹⁾で求められている 30 年間の貯蔵期間を満足することが可能であるか調査した。

表 1 ベントナイト A の基本的性質³⁾

表 1 ベントナイト A の基本的性質³⁾

種類	A
タイプ	Na型
土粒子の密度(Mg/m ³)	2.79
液性限界(%)	458.1
塑性限界(%)	23.7
塑性指数	434.4
モンモリロナイト含有率(%)	57

モンモリロナイト含有量は、純モンモリロナイトのメチレンブルー吸着量 140(mmol/100g)を基準に算出された値である。

2. 使用した試料および砂・ベントナイト混合土の作製方法

本研究では、粉体状のベントナイト A(クニミネ工業製・クニゲル V1)と、三河珪砂 V5 号(三河珪石株式会社製, $\rho_s = 2.660 \text{ Mg/m}^3$, 粒径: 0.75 ~ 2.00mm)を使用した。表 1 にベントナイト A の基本的性質を示す³⁾。

砂・ベントナイト混合土の作製方法は、ベントナイト配合率 10%、20% および 30%において、最適含水比となるよう所定の蒸留水量を砂に添加し均一に含水するためミキサー(株式会社愛工舎製作所・KENMIX chef)を用いて 1 分間混合した。その後、ベントナイトを添

加し、再度ミキサーにて1分間混合した。混合後は、密閉容器に入れ24時間以上養生した。表2に、「突固めによる土の締固め試験」(JIS A 1210:2009)⁴⁾に準拠し取得したベントナイト配合率10%、20%および30%における最適含水比と最大乾燥密度を示す。平均土粒子密度は、ベントナイト

A と三河珪砂 V5 号の土粒子密度と配合割合から算出した。なお、ベントナイト配合率とは全試料の乾燥質量に対するベントナイトの乾燥質量の百分率である。

3. 小型変水位透水試験方法による透水係数の測定

3. 1 小型変水位透水試験方法の概要

図 1 に、小型変水位透水試験装置の概略図を示す。内径 60mm、高さ 20mm の小型変水位透水試験容器にビュレット管(最大容量 25mL、最小目盛 0.1mL)を接続し行った。供試体は直径 60mm、高さ 20mm の円柱形である。供試体の作製方法は、内径 60mm、高さ 20mm の小型変水位透水試験容器に各ベントナイト配合率の最大乾燥密度になるよう突棒(直径 19.98mm、質量 501.06g)を用いて、落下高さ 30mm の条件で突固めた。突固めは 1 層の厚さを 10mm とし 2 層に分けて実施した。また、供試体の飽和方法は、

キーワード 砂・ベントナイト混合土, 透水係数, トラベルタイム, 透水試験

連絡先

〒316-0004 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 TEL 0294-38-5162

表 2 最適含水比と最大乾燥密度

ベントナイト 配合率 (%)	平均 土粒子密度 (Mg/m ³)	最大 乾燥密度 (Mg/m ³)	最適 含水比 (%)
10	2.68	1.64	19.1
20	2.69	1.72	15.1
30	2.70	1.74	15.4

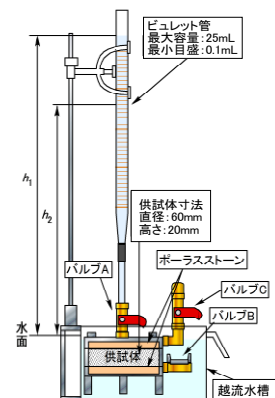


図1 小型変水位透水試験装置の概略図

蒸留水で満たした浸水容器内に小型変水位透水試験容器を 24 時間浸水させた。その後、小型変水位透水試験容器を蒸留水で満たした越流水槽に移し、ビュレット管を接続し、試験を開始した。試験は、一定期間、繰返し流入量を測定し、測定する毎に越流水槽内の水温を計測した。試験開始後、ビュレット管の単位時間当たりの水の減少量がほぼ定常化した後、試験を終了した。

3. 2 小型変水位透水試験から得られた透水係数

図 2 に小型変水位透水試験により得られた透水係数と乾燥密度の関係を示す。ベントナイト配合率 10% では透水係数は乾燥密度が $1.63 \sim 1.67 \text{ Mg/m}^3$ の範囲の場合、 $1.68 \times 10^{-11} \sim 1.08 \times 10^{-11} \text{ m/s}$ の範囲に、ベントナイト配合率 20% では乾燥密度が $1.70 \sim 1.78 \text{ Mg/m}^3$ の範囲の場合、 $1.77 \times 10^{-11} \sim 3.35 \times 10^{-12} \text{ m/s}$ の範囲に、そしてベントナイト配合率 30% では乾燥密度が $1.78 \sim 1.87 \text{ Mg/m}^3$ の範囲の場合、 $9.47 \times 10^{-12} \sim 5.26 \times 10^{-12} \text{ m/s}$ の範囲であった。上記の透水係数は、既往の研究⁵⁾と同程度の乾燥密度で比較した場合、同程度の透水係数が得られている。

4. トラベルタイムの算出

遮水工が飽和後、汚染水が外部に漏洩するまでの期間であるトラベルタイムを試算した。トラベルタイムとは、管理型の廃棄物処分場の遮水工の性能を評価する方法の一つの方法であり、ダルシー則に従って、水分子が遮水層をどの程度の時間を要して外部に漏出するかを一次元と仮定して算出するものである。ここでは、廃棄物層および排水層に浸出水が貯まってその水位が H となった場合の、浸出水が遮水工を通過するのに要する時間 T であるトラベルタイムを一次元的に考える。粘土ライナーの層厚は L 、透水係数は k とすると、トラベルタイム T は式(1)で表される。

$$T = \frac{L}{v} = \frac{L^2}{k(L+H)} \quad \dots(1)$$

式(1)から、小型変水位透水試験で得られた透水係数を用いて、遮水工の層厚を 0.5 m と仮定し、動水勾配を 1 および 10 とした 2 つの

表 3 トラベルタイムの試算結果

ベントナイト 配合率(%)	乾燥密度 (Mg/m^3)	透水係数 (m/s)	期間(year) [動水勾配 1]	期間(year) [動水勾配 10]
10	1.63～1.67	$1.68 \times 10^{-11} \sim 1.08 \times 10^{-11}$	944～1468	94～147
20	1.70～1.78	$1.77 \times 10^{-11} \sim 3.35 \times 10^{-12}$	896～4733	90～473
30	1.78～1.87	$9.47 \times 10^{-12} \sim 5.26 \times 10^{-12}$	1674～3014	167～301

ケースについてトラベルタイムを試算した。表 3 に試算結果を示す。動水勾配を 1 とした場合のベントナイト配合率 10%、20% および 30% におけるトラベルタイムは、944～1468 年、896～4733 年および 1674～3014 年の範囲となった。一方、圧力勾配を 10 とした場合のベントナイト配合率 10%、20% および 30% におけるトラベルタイムは、94～147 年、90～473 年および 167～301 年の範囲となった。動水勾配が 10 の場合、すなわち動水勾配が高いほど、遮水工の飽和後において汚染水の外部に漏洩するまでの期間は早いことが分かった。

5. まとめ

本研究では、供試体寸法を直径 60 mm 、高さ 20 mm とした剛壁型の小型変水位透水試験を製作し、ベントナイト配合率 10%、20% および 30% に対して試験を実施し、得られた透水係数からトラベルタイムを算出した。その結果、ベントナイト配合率 10%、20% および 30% において、動水勾配を 1 とした場合、944～1468 年、896～4733 年および 1674～3014 年の範囲となり、圧力勾配を 10 とした場合、94～147 年、90～473 年および 167～301 年の範囲となった。いずれの配合率および条件において、汚染土壌を 30 年間周辺環境との隔離が可能であると推察される。また、このように汚染水の漏洩にかかる期間を定量的に示すことにより、住民との合意をより早く達成できると考える。

参考文献 1)環境省：東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質による環境汚染の対処において必要な中間貯蔵施設等の基本的考え方について、pp.1-12, 2011. 2)小峯秀雄：ベントナイト系遮水材の性能評価に関する地盤工学的見解 —2013 年 4 月に発生した東京電力福島第一原子力発電所内地下貯水槽からの汚染水漏洩に関する風評の評価を払しょくするために—、第 10 回地盤工学会関東支部発表会、2013. 3)直井優、小峯秀雄、安原一哉、村上哲、百瀬和夫、坂上武晴：各種ベントナイト系緩衝材の膨潤特性に及ぼす人工海水の影響、土木学会論文集, No.785/III-70, pp.39-49, 2005. 4)社団法人地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説-二分冊の 1-, pp. 373-383, 447-461, 2009. 5)小峯秀雄、緒方信英：高レベル放射性廃棄物処分のための緩衝材・埋戻し材の透水特性、電力中央研究所報告 U0004, 2001.

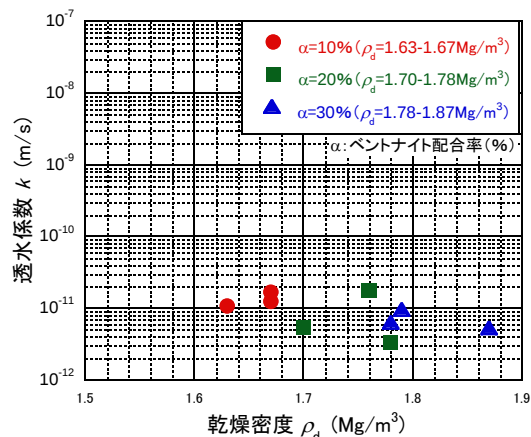


図 2 透水係数と乾燥密度の関係