

海面廃棄物処分場に用いる地盤材料の遮水性に関する研究

広島大学工学研究科 学生会員 ○片山 遥平
広島大学工学研究院 国際会員 土田 孝
広島大学工学研究科 学生会員 村上 博紀

1. はじめに

放射性セシウムによって汚染された廃棄物および除染土の最終処分の方法が問題となっている．これらの廃棄物を大量に処分することが可能である海面廃棄物処分場の可能性について検討を行った．今回は海面処分場の底面遮水材料として海成粘土，ベントナイト及び製鋼スラグを混合した遮水材の透水性に及ぼすせん断変形の影響及び粘性土内での製鋼スラグの沈降について実験的に調べた．

既往の研究により，海成粘土はセシウムを吸着する性質を有する．ベントナイトはセシウムを吸着するだけではなく，変形を与えても十分に追従し，遮水性を低下させない性質を有する．また，放射性セシウムを含む廃棄物を対象とする海面廃棄物処分場においては余水を水処理して放流することが難しいと考えられるため，処分場内の水位をあらかじめ低下させることにより，余水を発生しない埋立方法を検討した．この場合，処分場内外の水頭差により遮水層に揚圧力が生じるので，揚圧力に対する安定性を確保する必要がある．製鋼スラグは海成粘土よりも単位体積重量が大きいため，遮水材に混合することで遮水層の重量が増加することが期待される．以上が海成粘土にベントナイトと製鋼スラグを混合した理由である．

海面廃棄物処分場が波浪，地震動などの外力や地盤沈下等を受けた場合，遮水層に大きな変形を生じ，遮水層の遮水性が低下することが懸念される．本研究では，遮水材にせん断変形を与えた時の透水係数の挙動を調べるため，海成粘土，ベントナイト及び製鋼スラグの配合量の異なる試料を用いてせん断変形と透水係数の関係を調べた．また，分離が発生しない混合のための粘性土の条件を明らかにするため，粘性土内での製鋼スラグの沈降に関する実験を行った．

2. 遮水性能の検討方法

表-1 配合条件

試料名	製鋼スラグ(粘土粒子に対する体積率)	ベントナイト(徳山港粘土1m ³ 当たり)
T0S50	50%	—
T50S50		50kg/m ³
T0S25	25%	—
T50S25		50kg/m ³
T0	—	—

本研究で用いた試料は，徳山港粘土($\rho_s=2.616\text{g/cm}^3$ ， $w_L=110.6\%$)，ワイオミング産ベントナイト($\rho_s=2.898\text{g/cm}^3$ ， $w_L=510.6\%$)及び製鋼スラグ($\rho_s=3.44\text{g/cm}^3$)である．表-1に試験に用いた徳山港粘土，ベントナイト，製鋼スラグ配合量及び試験体名を示す．図-1は徳山港粘土とベントナイト及び製鋼スラグを混合した試料の透水係数であり，圧密試験から求めている¹⁾．この試験結果より，本研究の配合条件を決定した．

表-1の試験体に対して，三軸圧縮試験と変水位透水試

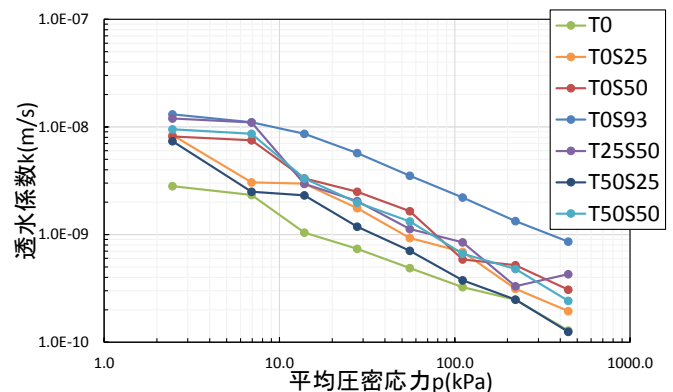


図-1 k-p 曲線¹⁾

験を行った。まず、12.25kPa、24.5kPa、49kPa の三段階で予備圧密を行い、トリミングして粘土供試体を作成した。供試体寸法は直径50mm、高さ50mmとした。その後、供試体を図-2に示す三軸圧縮試験機に設置し、セル圧を20kPaから100kPaまで20kPaごとに上げていき、それと同時に背圧を10kPaから90kPaまで20kPaごとに上げた。その後、供試体を完全に飽和させるために背圧のコックを開放したまま二時間放置した。その後、軸力とセル圧を上げながら計五段階の圧密を行った。五段階の圧密後、供試体に0%から10%まで2%ごとのひずみを与え、供試体上下面に50cmの水頭差を与えながら透水し、それぞれのひずみでの透水係数の挙動を調べた。

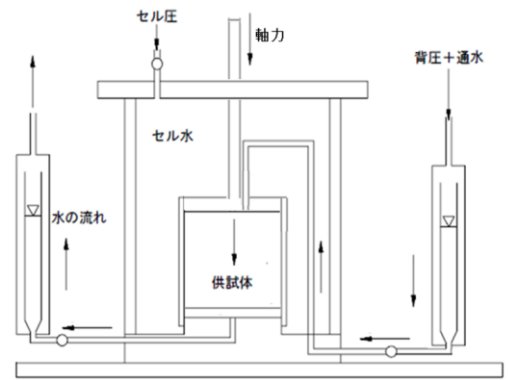


図-2 三軸圧縮試験機模式図

3. 試験結果

図-3に透水係数－ひずみ曲線を示す。一部を除き、ひずみが大きくなるほど、透水係数が増大していることがわかる。T0、T0S25、T50S25の供試体においてひずみ初期段階で透水係数が小さくなっているのは、この段階ではまだ破壊が生じておらず、圧縮力によって供試体がより密実になったからと考えられる。

図-4に透水係数の増加率 X－ひずみ曲線を示す。ここで、増加率 X を次式で定めた。

$$X = \frac{k_x}{k(T0)}$$

ここで、 k_x は任意のベントナイト・製鋼スラグ配合比での透水係数、 $k(T0)$ は供試体 T0 の透水係数である。試験結果より T0S50 の供試体の透水係数の上昇が最も大きく、ひずみが10%のときに初期値の12倍程度にもなっていることがわかる。これは製鋼スラグの混合により粘土供試体に固化が生じたためであると考えられる。しかし、ベントナイトを添加することで透水係数 k の増加が4倍程度に抑えられていることが分かる。特に、T50S25の供試体ではひずみを与えたことによる透水係数の上昇がほとんどないことが分かる。これらより、粘土に製鋼スラグを混合するとひずみを与えた時に透水係数の増加幅が大きくなること、ベントナイトを添加することで透水係数の上昇をある程度抑えることができることが分かった。

ここで、上野らの実験結果²⁾との比較を行った。上野らの実験では模型実験、今回の実験では三軸圧縮試験機による実験という違い、製鋼スラグを混合しているかしていないかという違いはあるが、実験の原理、ねらいは概ね同じである。

図-5に示すように上野らの実験においても、本研究の実験結

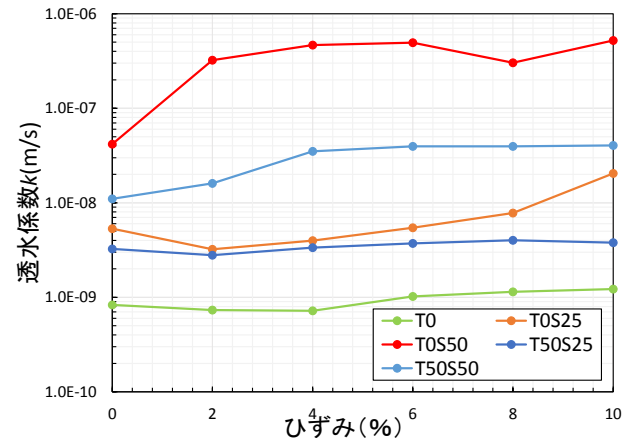


図-3 透水係数－ひずみ曲線

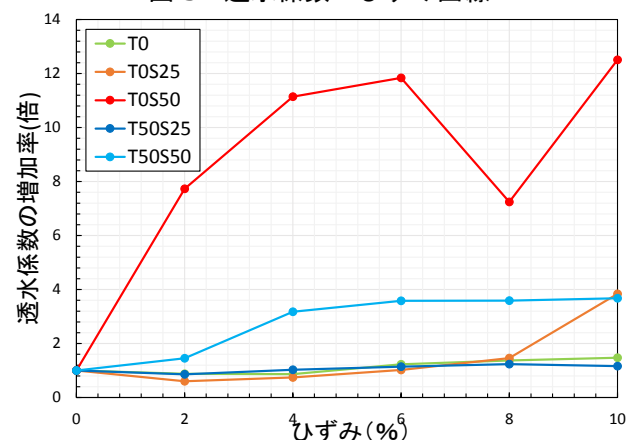


図-4 透水係数の増加率－ひずみ曲線

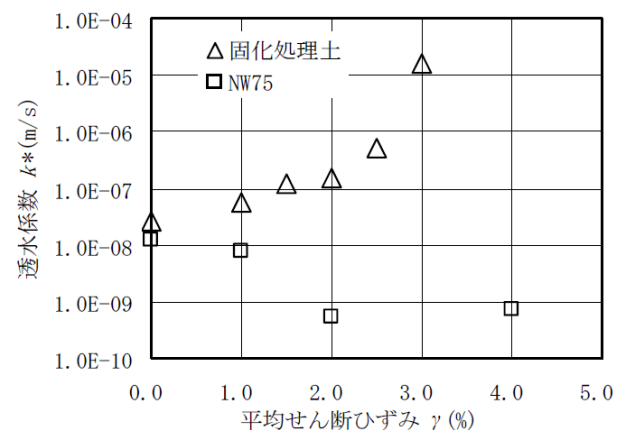


図-5 透水係数とせん断ひずみの関係²⁾

果と同様に海成粘土にベントナイトを添加することでひずみによる透水係数の上昇を抑制できるという結果が出ている。

なお、供試体高さと直径の比が 1 : 1 であったため、圧縮により試験体は**写真-1**のように樽型に変形した。また、今回の試験は圧縮の方向と透水の方向が同じという条件であるが、今後せん断変形の方向と透水の方向を変化させた場合について検討を行う予定である。

4. 遮水材料と重量調整剤を混合した時の材料分離の条件に関する検討

本研究では徳山港粘土、**写真-2**に示す模型個体を用いた。**写真-2**の模型個体の作製にはアルミ板、アルミ棒、プラスチック板を用いた。アルミ板で作った箱の内部に重りを詰め、重量を調整した。

表-2に本研究で実施する試験パターンを示す。なお、模型個体重量は製鋼スラグ(密度： $\rho=3.44\text{g/cm}^3$)の密度を基準として約 1 倍、約 2 倍の 2 通りの模型個体を用意した。含水比 130~160%の 6 パターン、全てで 12 通りの実験を行った。

また、**表-3**に供試体の寸法を示す。

表-2 試験パターン

密度(製鋼スラグ比)	1倍					
	2倍					
含水比(%)	130	140	145	150	155	160

表-3 供試体寸法

密度(製鋼スラグ比)	1倍	2倍
高さ(mm)	20.17	20.85
底面(mm)	20.85 × 21.3	20.65 × 21.05
底面積(cm^2)	4.441	4.347

スラグの粘土中での分離特性に関する研究はなされていないので、**写真-3**に示す試験装置を用いて検討した。徳山港粘土に水を加え、様々な含水比に調整し、十分に攪拌した後、ベーンせん断試験機でベーンせん断強度を測定した。その後、直径 110mm、高さ 130mm のプラスチック容器に粘土を詰め、非接触レーザー変位計を用いて一時間の沈降量を測定した。ベーンせん断試験により得られた粘土の強度より、安全率を次式で定めた。

$$F = \frac{C_{u(vane)} \times 5.14}{\frac{W - W_{clay}}{A}}$$

ここに、 $C_{u(vane)}$ ：ベーンせん断強度、 W ：模型質量、 W_{clay} ：模型個体の体積分のスラリーの重量、 A ：模型個体底面の断面積である。アルキメデスの原理が粘土でも働くとし、供試体応力から浮力を差し引いた。なお、分子の 5.14 は Terzaghi の支持力係数である。安全率と供試体の沈降量を合わせて分析した。

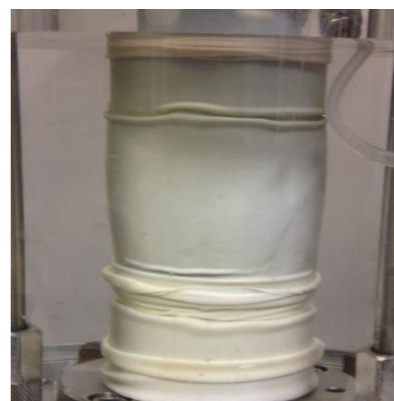


写真-1 樽型変形の様子



写真-2 模型個体



写真-3 試験装置

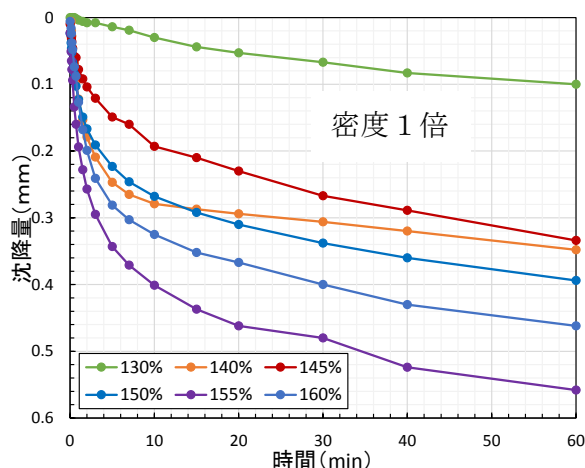


図-6 時間一沈降量

5. 試験結果

図-6、図-7 に時間と沈降距離の関係をプロットした曲線を示す。図-6 は製鋼スラグの重量の 2 倍の模型個体を、図-7 は 2 倍の模型個体を用いたものである。図-6 を見ると、ある程度含水比に応じた沈降の度合いを示しているが、含水比 140%と 145%, 155%と 160%の供試体の間で沈降距離の逆転が起きていることがわかる。これは、今回の実験では供試体を粘土に沈める深さをあまり考慮しておらず、実験ごとに若干根入れ深さにばらつきが生じていることが原因の一つと考えられる。図-7 でも同様の現象が起きている。

図-8 に横軸に安全率 F 、縦軸に時間ごとの沈降量を取り、近似曲線を引いた図を示す。図-8 を見ると、試験結果にばらつきがあることが分かる。この原因は、ベーンせん断強度にばらつきがあること、根入れ深さを統一していないこと、模型個体が軽く、粘土中で不安定になり傾いたことなどが考えられる。材料分離の条件を明らかにするためには、別の試験方法を考える必要があるとわかった。

6. 結論

1. 粘土供試体にひずみを与えると、スラグの混合率が大きいほど透水係数の増加が顕著になるが、ベントナイトを混合することで遮水材が変形に追随し、ひずみを与えても透水係数の増加を抑えることが可能であると分かった。
2. せん断変形の方法と透水の方法を変化させた場合について検討を行う必要がある。
3. 材料分離の条件を明らかにするためには、別の試験方法を考える必要がある。

参考文献

- 1) 片山遥平, 土田孝, 村上博紀: 放射性セシウムを含む廃棄物を対象とした海面処分場に用いる遮水地盤材料の開発 ―単位体積重量の調整とせん断変形の影響―, 広島大学卒業論文, 19-27, 2014.3
- 2) 上野一彦, 山田耕一, 渡部要一: 管理型海面廃棄物処分場に用いる浚渫粘土を主材料とした土質遮水材料の提案, 土木学会論文集 G Vol.64 No.2, 177-186, 2008.6

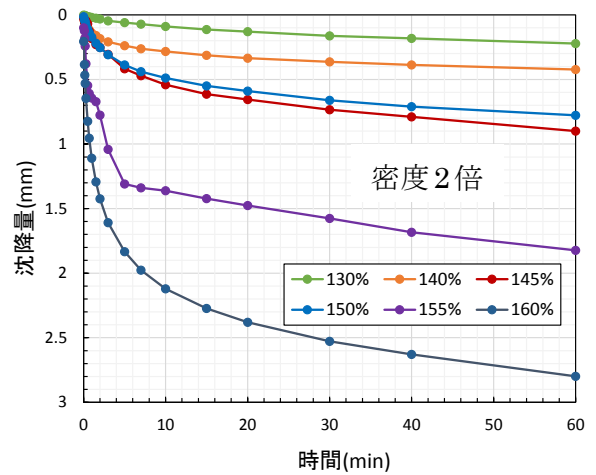


図-7 時間-沈降量

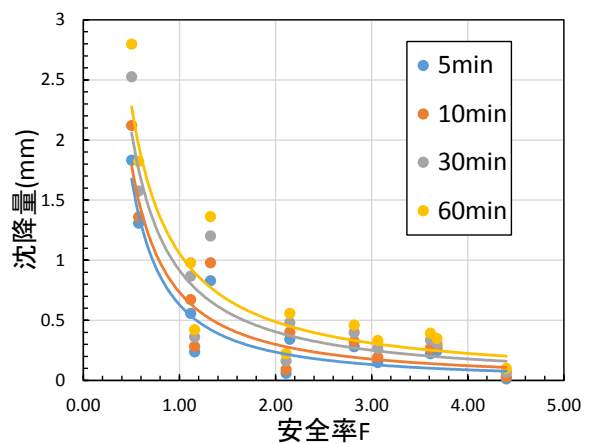


図-8 安全率 F -沈降量