

海面処分場の底面遮水層に必要な強度と圧密係数に関する考察

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○遠藤 秀祐
 広島大学大学院工学研究院 正会員 土田 孝
 広島大学大学院工学研究科 学生会員 高橋 源貴

1. はじめに

海面の廃棄物処分場は、陸上の処分場に比べて大きな容量が確保でき、人々の生活から離れた場所で廃棄物を処分可能という特徴がある。海底面が砂質地盤の場合に、底面を遮水する人口遮水材を敷設する工法が開発され、遮水材の敷設面積が 45,000m² の管理型海面処分場の建設に用いられている¹⁾。底面遮水層は、必要な遮水性能を有するとともに、その上に廃棄物を処分するため強度と圧密特性が重要となる。前述した施工事例では、処分する廃棄物の水中単位体積重量が 1.2kN/m³ であり、载荷重としては極めて小さいものであった。本研究は、高い遮水性能を有する処分場を底面遮水で建設することを考え、一般的な廃棄物を処分するときに海面処分場の底面遮水層に求められる強度と、その強度を得るために必要な圧密時間と圧密係数に関して考察を行った。

2. 想定した海面処分場の性能と遮水材料

本研究で対象とする海面処分場の必要性能を以下のように設定した。①底面遮水層の透水係数 5.0×10^{-10} m/s 以下、層厚は 4.0m、②余水を低減するため管理水位は T.P. -5.0m、③保護層として製鋼スラグを用いることの3点である。図-1 に対象とする海面処分場の断面図を示す。また、図-2 に徳山港粘土に対してベントナイト及び砂を添加した数種類の遮水材料に対して標準圧密試験を行い得られた、圧密係数と平均圧密応力の関係を示す。この関係に対して、ベントナイト添加比と砂添加比を変数とした回帰分析を行い、圧密係数に関する予測式を得た。式(1)に得られた予測式を示す。

$$c_v = c_{v0} P^{-b}$$

$$c_{v0} = -1.45 \times 10^{-2} r_s + 4.76 \quad (1)$$

$$b = -5.08 \times 10^{-3} r_B + 2.02 \times 10^{-3} r_s + 0.36$$

ここで、 c_{v0} ：初期圧密係数(cm²/day)、 b ：圧密係数変化定数、 r_s ：砂添加比(%), r_B ：ベントナイト添加比(%)を表す。

以上の条件を満足する、海成粘土を母材とした遮水材を配合した結果、海成粘土が 1m³ に対しベントナイト

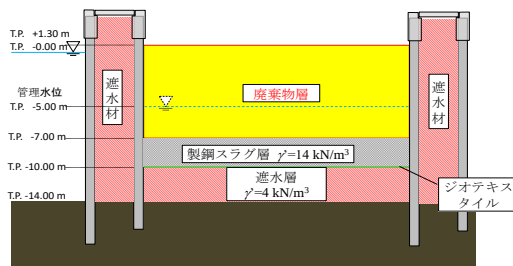
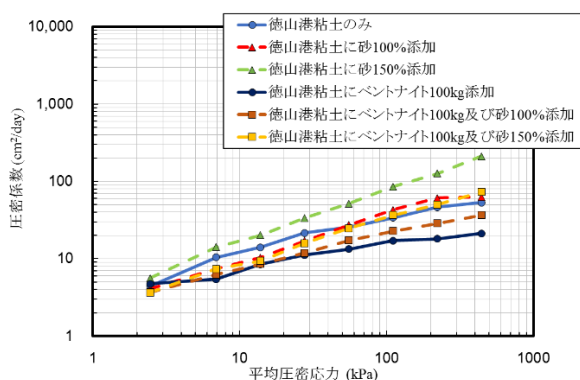
図-1 対象とする海面処分場断面図²⁾

図-2 徳山港粘土にベントナイト及び砂を添加した遮水材料の圧密係数と平均圧密応力の関係

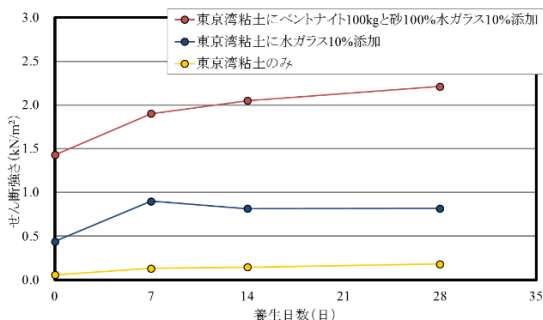


図-3 水ガラスを添加した遮水材料のせん断強さと養生日数の関係

を 151kg、砂を徳山港粘土とベントナイトの合計乾燥重量に対し 150%添加した配合となった。なお海成粘土には徳山港粘土（ $\rho_s=2.616$ g/cm³, $w_L=110.6\%$ ）、ベントナイトはワイオミング産ベントナイト（ $\rho_s=2.898$ g/cm³, $w_L=510.6\%$ ）、砂は相馬珪砂 5 号（ $\rho_s=2.665$ g/cm³）を想定している。

3. 水ガラス添加による初期せん断強さの検討

底面遮水層上には、すべりへの抵抗や遮水層保護のためのジオテキスタイルと、揚水圧に対するカウンタ

一ウエイトとして製鋼スラグによる保護層の施工が検討されている。保護層と廃棄物層は複数回に分けての施工が想定されるが、その保護層1層目の荷重に対しては、ジオテキスタイルの補強効果は期待できないため、底面遮水層の初期せん断強さのみで抵抗しなければならない。そこで本遮水材料に初期せん断強さを加えるため、水ガラスを添加することとした。図-3に、ベントナイトと砂を添加した東京湾粘土に対し、水ガラスを添加した遮水材料の養生日数とせん断強さの関係を示す。図-3から、ベントナイトを添加した遮水材料は水ガラスと反応性が高いことがわかる。今回使用している海成粘土は徳山港粘土であるが、ベントナイトを大量に含んでいることから、水ガラスとの反応性は高いと言える。底面遮水層に必要な初期せん断強さは粘性土地盤の支持力公式から式(2)のように算出する。

$$\begin{aligned} p &= H_{p1} \times \gamma_p' = 0.30 \times 14.0 = 4.2 \\ q &= 5.14c_0 \quad q \geq p \\ c_0 &\geq \frac{4.2}{5.14} \times 1.2 = 0.98 \approx 1.0 \text{ kPa} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで p : 保護層1層目による荷重(kPa), H_{p1} : 保護層1層目の層厚(m), γ_p' : 製鋼スラグの水中単位体積重量(kN/m³), q : 粘性土地盤の支持力(kPa), c_0 : 初期せん断強さ(kPa)を表す。

以上より、底面遮水層の初期せん断強さ c_0 は 1.0 kPa を用いることとする。

4. 圧密によるせん断強さ増加の検討

本遮水材料は母材が海成粘土であるため、圧密によりせん断強さが増加する。廃棄物埋立時は、保護層荷重による圧密がある程度終了した時点で埋立を開始することで、底面遮水層のせん断強さ増加分を期待でき、一度に埋め立てる廃棄物の量を多く見積もることができる。以下では、底面遮水層は圧密によりどの程度せん断強さが増加するかを検討する。

まず、せん断強さ c (kPa) は式(3)により表される。

$$c = c_0 + \Delta c \quad (3)$$

ここで、 Δc : せん断強さ増加分(kPa)を表す。

続いて、作用する応力にせん断強さ増加率 α を乗することでせん断強さ増加分 Δc を式(3)より算出した。なお、せん断強さ増加率 α を 0.25、製鋼スラグの水中単位体積重量 γ_p を 14.0 kN/m³ と仮定している。

$$\Delta c = \left(\gamma_p \times H_p + \gamma' \times \frac{H}{2} \right) \times \alpha = (14.0 \times 3.0 + 5.7 \times 2.0) \times 0.25 = 13.4 \text{ kPa} \quad (4)$$

ここで、 H_p : 保護層厚(m), γ' : 遮水材料の水中単位体積重量(kN/m³), H : 底面遮水層厚(m)を表す。

今回対象としている遮水材料の圧密係数 c_v は、保護層の施工前後で平均圧密応力をとると 11.40 cm²/day である。ここで現実的な圧密時間を 2 年と仮定すると、この圧密時間を下回る平均圧密度は式(5)より、平均圧密度 50% が圧密時間約 1.89 年で達成できることが分かった。

$$t = \frac{(H/2)^2 \cdot T_v}{c_v} = \frac{(400/2)^2 \cdot 0.197}{11.40} = 691.2 \text{ 日} = 1.89 \text{ 年} \quad (5)$$

ここで、 H : 底面遮水層厚(cm), T_v : 時間係数を表す。

したがって、求められるせん断強さ増加分は平均圧密度 50% から算出することとし、式(3)に平均圧密度 50% を乗し、式(6)のように算出した。なお、安全率 1.2 を見込んでいる。

$$\Delta c = (14.0 \times 3.0 + 5.7 \times 2.0) \times 0.25 \times 0.5 \div 1.2 = 5.6 \text{ kPa} \quad (6)$$

ゆえに、式(1), (2), (7)より、本底面遮水層のせん断強さは式(6)のように求められる。

$$c = c_0 + \Delta c = 1.0 + 5.6 = 6.6 \text{ kPa} \quad (7)$$

以上から、廃棄物の埋立を保護層の施工完了から 1.89 年後に開始することとし、このときの底面遮水層のせん断強さを 6.6 kPa とすることが可能であることがわかった。

5. 結論

底面遮水工を用いた海面の管理型処分場では、遮水層の性能として、低遮水性だけでなく、圧密特性、強度も重要な項目である。本検討では、圧密係数 c_v が 11.40 cm²/day と小さい遮水材料を底面遮水層に用いた場合でも、保護層施工完了からある程度の圧密時間を置くことで、一般的な廃棄物の埋立が可能となるようなせん断強さが保護層の荷重のみで得られることが分かった。さらに本事例では、廃棄物の埋立を 2 段階に分けることで、所要の安全率を上回ることが確認されている。実施工においては、透水係数を低く保ち、かつ、初期強度と圧密係数を向上させる配合設計が必要になると考えられる。

参考文献

- 1) 川崎隆広, 山田耕一, 上野一彦: 海面処分場における土質遮水材料の施工事例, 地盤と建設, Vol. 27, No. 1, 2009
- 2) 村上博紀, 土田孝, 安部太紀, 上野一彦, 田中裕一: 放射性セシウムを含む廃棄物等を対象とした海面処分場に用いる遮水地盤材料の研究, 地盤工学ジャーナル, Vol. 10, No. 1, pp. 17-32 2014