脱水ケーキを用いた新しい遮水材料の重金属捕集能の検討

福岡大学　学生会員　○末竹良　黒岩兼一
福岡大学　正会員　佐藤研一
(株)アステック　森本辰雄　武田都

1.はじめに　管理型最終処分場の、粘土系遮水材料は現地発生土とベントナイトを混合したベントナイト混合土が一般的に用いられている。しかし、ベントナイトは、廃棄物中の浸出水に含まれる電解質溶液や非極性流体等により膨潤性が阻害される場合があることが知られており、遮水材料として問題があると考えられる[1]。そこで著者ら[2),3)]は、各地で安定的かつ一定品質で発生する砕石場の脱水ケーキに着目し、重金属捕集能を有する添加剤[4)]を混合した新しい遮水材料の開発を行っている。また、これまでの研究により新しく開発した遮水材料の力学特性と透水特性は明らかとなっている。しかし、この遮水材料は施工現場を考慮して締固めた状態における長期にわたる重金属捕集の機能性についての詳細な検討には至っていない。そこで、新しく作成したカラム試験装置を用いて遮水材料の重金属捕集の確認試験を行った結果について報告する。

2.実験試料　実験では、兵庫夢前の砕石場での汚濁処理に伴い発生する脱水ケーキ使用した。**表-1** に本研究で使用する重金属捕集機能等を有する添加剤を示す。ゼオライトとハイドロタルサイト様化合物は、重金属捕集剤としての効果を目的とし、ドロマイトは主に pH コントロール剤として用いている。**表-2** に脱水ケーキに添加剤を配合した本研究の遮水材料の物理特性を示す。塑性指数が 10 と低塑性の材料であり、粘土とシルトの細粒分で構成されている。

表-1　各添加剤の特徴と配合率

添加剤	鉱物、生成金属	主な吸着重金属	特徴	配合率(%)
ドロマイト	苦石灰	Br、F	Phコントロール、固結効果	2
ゼオライト	モルデナイト鉱物	Fe、Al、Mg	陽イオン交換反応	2
ハイドロタルサイト様化合物	Al、Mgから焼成	Cr、As、Se	陰イオン交換反応	5

表-2　物理特性

添加剤配合後の遮水材料	
土粒子の密度ρ_s(g/cm^3)	2.693
液性限界w_L(%)	39.9
塑性限界w_P(%)	29.9
塑性指数I_p	10.0
細粒分含有率F_c(%)	100

3.実験概要　**図-1** に実験で用いた下方流型のカラム試験装置を示す。本研究では、処分場の浸出水が漏水した場合を想定し、下方流型のカラム試験装置で一定の動水勾配（i=20）を確保し、所定の密度に締固めた不飽和状態の供試体でカラム試験を行った。**表-3** に模擬汚水の作製条件を示す。模擬汚水は、重金属類の中でも吸着されにくいとされる六価クロム Cr^{6+}を用い、設定濃度として処分場の埋立基準値 1.5ppm に調整した。また、浸出水の塩分濃度を想定した塩化カルシウム（$CaCl_2$）を 0.005mol/L とし、吸着能力を発揮しやすいように pH 調整剤として水酸化ナトリウムを用いてアルカリ側(pH=9～9.5)に調整した。

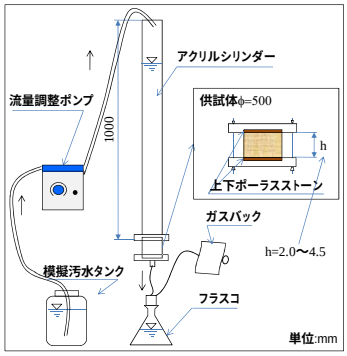

図-1　カラム試験概要

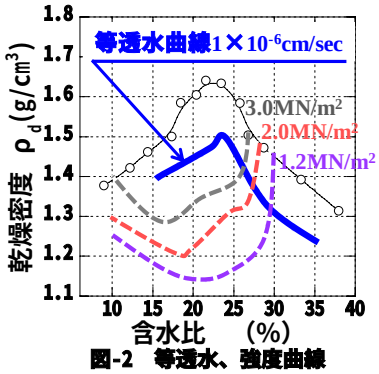

図-2　等透水、強度曲線

表-3　模擬汚水作製条件

試薬	濃度
六価クロムCr^{6+}	1.5ppm
塩化カルシウム$CaCl_2$	0.005mol/L

4.検討内容　（1）**遮水材料含水比の初期含水比の影響**：遮水材料の締固め試験から得られる曲線より、最適含水比(w_{opt})、乾燥側(w_{opt}-4%)、湿潤側(w_{opt}+4%)の違いにおける吸着能の検討をおこなった。供試体の密度は、**図-2** に示すこれまでの研究で明らかとなっている等強度・透水曲線[3)]の結果から粘土系遮水材料の規定である透水係数 k=1×10^{-6}cm/sec を目標に供試体をモールドに締固めて作製した。

（2）**重金属吸着持続年数の評価**：粘土系遮水材料は層厚 50cm 以上と規定[4)]されており、カラム試験と実際の処分場では層厚が異なるため吸着能力も異なる。そこで、最適含水比におけるカラムの供試体高さを h=2.0～4.5cm の 0.5cm 間隔 6 条件の吸着能力を明らかにした。その結果を用いて遮水層 50cm とした場合の吸着能持続年数を算出し評価を行った。

5.初期含水比の影響　**図-3** に、含水比の違いにおける六価クロムの溶出濃度と処理水量の関係を示す。遮水材料の初期含水比の増加に伴い吸着能力が低下することが分かる。また、破過点及び六価クロムの土壌環境基準に達するまでの処理水量は、含水比が低い条件から約 2 倍ずつ低下している。これは、材料の含水比増加に伴い、試料混合時に材料自体が団粒化し、模擬汚水が土粒子表面に接触する面積の減少が理由と考えられる。このことより、この遮水材料は、出来るだけ乾燥側で施工することにより吸着能力が大きくなることが示された。また、**図-4** に pH と処理水量の関係を示す。模擬汚水の設定 pH は 9～9.5 であるが、カラムを通過した初期 pH は約 12.5 と高くなっている。これは、ドロマイトの pH コントロールが作用し、初期 pH が高くなっていると考えられる。その後、全ての条件で徐々に pH が低下することが示された。

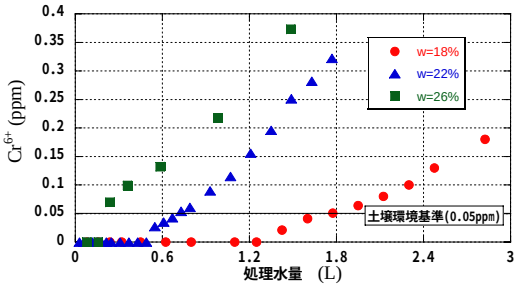

図-3　Cr^{6+}濃度と処理水量の関係

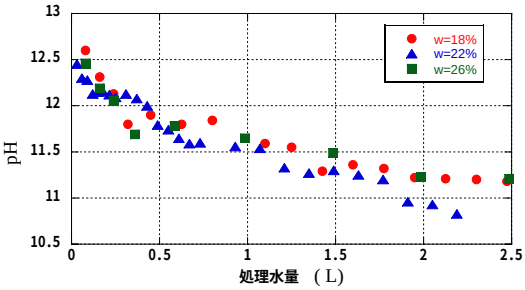

図-4　pH と処理水量の関係

6.重金属吸着持続年数の評価　**図-5** にカラムの供試体高さの違いにおける六価クロム溶出濃度と処理水量の関係を示す。また、各供試体の平均透水係数も示している。供試体の高さが高くなるにつれ六価クロム吸着の遅延が現れ、吸着能力が上昇していることが分かる。そこでこの結果を用いて、(1) の式により各供試体高さの重金属吸着能を算出した結果を**図-6** に示す。供試体体積と求められた吸着能力は比例関係にあり高い相関性にあることが分かる。さらにこの結果を用いて、処分場の遮水層を 50cm と仮定した場合の各透水係数の違いにおける、吸着持続年数を式（2）より算出した結果を**図-7** に示す。同様に、乾燥側と湿潤側の関係も示す。

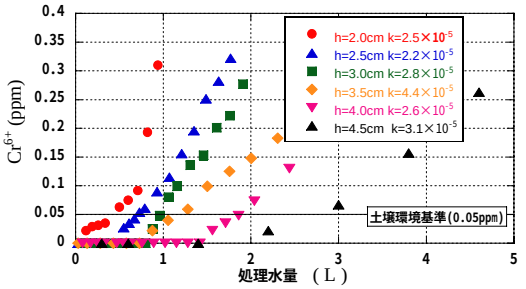

図-5　Cr^{6+}濃度と処理水量の関係

$$A_k = \frac{C_0 Q_a}{\rho_t V_k} \qquad (1)$$

A_k：重金属吸着能力（mg/kg）　C_0：模擬汚水濃度（mg/L）
Q_a：土壌環境基準に達するまでの流量（L）　ρ_t：単位体積重量（mg/cm^3）
V_k：カラム体積(cm^3)

$$Y = \frac{A_k \rho_t V}{C\,SV} \qquad (2)$$

Y：重金属吸着持続年数（year）　V：遮水層の体積(m^3)
C：汚水重金属濃度（mg/L）
SV：一年間の通水速度（m/year）（遮水層から得られる透水係数 k(cm/sec)から換算）

ここで、北橋ら [5]の調査により処分場浸出水の重金属は約 30 年で安定化するとされているため、**図-7** より、透水係数が k=1×10^{-6}cm/sec 以下を確保することで十分な重金属吸着持続年数が得られることが分かる。実際の処分場では**図-2** に示す等強度等透水曲線より、透水係数 k=1×10^{-6}cm/sec 以下を目標に密度管理を行えば十分な吸着能が得られるとも考えられる。

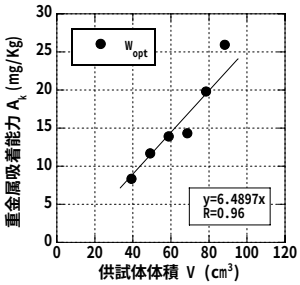

図-6　各供試体体積と重金属吸着能力

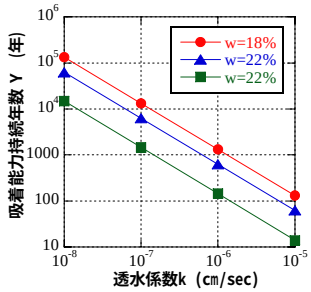

図-7　透水係数と重金属吸着持続年数

7.まとめ　1）本研究の遮水材料は材料の含水比が増加するほど吸着能力は低下するため、材料が施工可能な範囲で乾燥側に含水比調整する事が望ましい。2）本研究の遮水材料は透水係数が k=1×10^{-6}cm/sec 以下を確保することで十分な重金属吸着持続年数を有していることが示された。

【参考文献】 1) 勝見武: ベントナイトを用いた遮水ライナーの耐化学性について，土と基礎 Vol.49 No.2 Ser.No.517 pp.21-24. 2) 武田都: 砕石場の脱水ケーキを用いた重金属捕集能を有する遮水材料に関する基礎的研究 平成 19 年度　福岡大学大学院修士論文. 3) 末竹良: 重金属捕集能を有する新しい遮水材料の基礎的研究，第 8 回地盤改良シンポジウム論文集 pp.71-74, 2008. 4) 和田信一郎: 廃粘土を利用した高機能遮水壁構築の試み，第 40 回地盤工学研究発表会 pp.2529-2530, 2005. 5) 北橋伸一: 一般廃棄物最終処分場浸出水の変化 http://www.wit.pref.chiba.jp/bank, rd/1/ 999_02.html .