

# 砕石場の脱水ケーキを用いたシーリングソイル工法の開発

武田都<sup>1</sup>・森本辰雄<sup>1</sup>・佐藤研一<sup>2</sup>・末竹良<sup>2</sup>

1:株式会社アステック 〒670-0028 兵庫県姫路市岩端町 107-4 e-mail: [m.takeda@astec-geo.co.jp](mailto:m.takeda@astec-geo.co.jp)

2:福岡大学工学部社会デザイン工学科 〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1

## Development of Sealing Soil Liner using Dehydrated Cake Yield at a Quarry

Miyako TAKEDA<sup>1</sup>, Tatsuo MORIMOTO<sup>1</sup>, Kenichi SATO<sup>2</sup> and Ryo SUETAKE<sup>2</sup>

1:ASTEC Co.,Ltd 107-4 Iwabana-cho Himeji-City Hyogo 670-0028 Japan

2:Fukuoka University,8-19-1 Nanakuma Fukuoka, Fukuoka, 814-0180 Japan

### Abstract

There are several choices of soil and membrane for the barrier layer at the bottom of a waste landfill. If clay liner is used, the legal requirements in Japan specify a minimum thickness of 50 cm with a hydraulic conductivity of less than  $1 \times 10^{-6}$  cm/s (IGS, 2000). However, these landfills often have the problem of leaching from waste because of geo-membrane damage. Therefore, we are developing the new type clay liner with heavy metal adsorption. This material consists of zeolite, doromite, hydrotalcite and sludge (sealing soil). These additive agents have not only cation exchange capacity but also anion exchange capacity. In this study, we used dehydrated cake produced at a quarry as the sludge. Sludge has high water content and contains many fine-grained particles. Therefore sludge should be effectively used for construction in order to enhance recycle use.

This paper described the results of examination in terms of following 4 points.

#### 1) Traffic-ability examinations

Because we use dehydrated cake with initial high water content, traffic-ability of materials should be considered in case of seepage control construction. Then we studied effects of initial water content on traffic-ability.

#### 2) Hydraulic conductivity characteristics

New impervious material as a clay liner has to meet its legal requirements, hydraulic conductivity of less than  $1 \times 10^{-6}$  cm/s. Then we study the effect of initial water content on permeability modulus by using flexible wall type permeable test apparatus.

#### 3) Proposal of quality control of clay liner

Considering its permeability, compaction properties and a cone index of material in the optimum construction condition of impervious material meets its requirement for disposal site, we did proposal of quality control of clay liner.

#### 4) Long term durability of clay liner material

From the view of long term durability of impervious material, Vitality of heavy metal collecting ability were examined.

**Key Words:** *Sealing soil, Clay liner*

### はじめに

処分場の遮水材として、粘土ライナーを採用する事例が増えてきている。現在、ベントナイト混合土を用いて遮水性能を高めることが一般的である。これは、ベントナイトの膨潤性を利用して遮水性能を高めている。一方、シーリングソイル工法とは、ゼオライトなどの天然の粘土鉱物を遮水材として用いる粘性土に混合することにより、重金属捕集能を高める工法である。遮水材自身に重金属を捕集する能力を持たせることにより、浸出水に含まれる重金属類の周辺土壌への拡散を防ぐことができる。本研究では、特に粘性土として砕石場の脱水ケーキを用いることで、経済性に優れた新しい遮水材の開発を目指している。

本研究では、下記の4つの点に着目し検討を行った結果について考察する。

#### 1) トラフィカビリティー

初期含水比の高い脱水ケーキを用いるため、遮水工の施工では材料の持つトラフィカビリティーの確認が必要である。そこで、この研究では、材料の初期含水比がトラフィカビリティーに及ぼす影響について検討した。

## 2) 透水特性

処分場遮水工として用いる新しい遮水材料は、透水係数  $1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$  以下が要求される。そこで、柔壁型変水位透水試験機を用いて材料の初期含水比と締固め度が透水係数に及ぼす影響について検討した。

## 3) 遮水材料の品質管理法

処分場の要求性能を満たす遮水材料の最適な施工状態について材料のコーン指数、透水および材料の締固め特性から品質管理方法の提案を行った。

## 4) 材料の長期耐久性

遮水材料の長期的な耐久性について重金属捕集能の持続性から検討を行った。

## 実験概要

### 実験試料

兵庫と熊本の砕石場で濁水処理に伴い発生する脱水ケーキを土質材料として使用した（以下、それぞれの試料を Sludge A と Sludge B と呼ぶ）。また、Sludge A と Sludge B に添加剤を混合したものをそれぞれ Sealing Soil A、Sealing Soil B とする。Fig.1 に土質材料の粒度分布を示す。2つの脱水ケーキともほぼすべてが細粒分で構成されている試料であることがわかる。Fig.2 の締固め曲線から2試料ともほぼ同じ最適含水比を示すが、Sludge B のほうが最大乾燥密度の大きい材料である。また、添加剤を配合することにより締固め特性が変化している。Table 1 に物理特性試験の結果を示す。Sludge B は土粒子の密度が高く脱水ケーキの岩質の違いが分かる。液性限界、塑性限界は Sludge B のほうが大きい、塑性限界はほぼ等しく、いずれも低塑性の材料である。

Table 1 Physical properties

	Sludge A	Sealing Soil A	Sludge B	Sealing Soil B
Density of soil Particles $\rho_s$ ( $\text{g/cm}^3$ )	2.63	2.96	2.95	2.94
Liquid limit $w_L$ (%)	39.9	39.9	42.2	53.8
Plastic limit $w_P$ (%)	25.4	29.9	28.2	32
Plasticity index $I_p$	14.5	10	14	21.8
Optimum water content $w_{opt}$ (%)	20.6	22.1	20.5	23.6
Maximum dry density $\rho_{d, max}$ ( $\text{g/cm}^3$ )	1.71	1.64	1.81	1.66

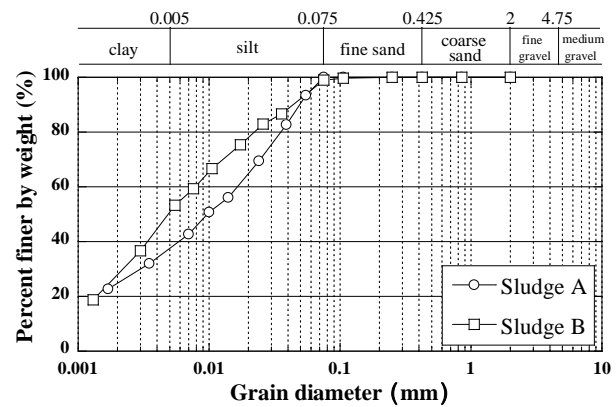


Fig.1 Particle-size distribution curves

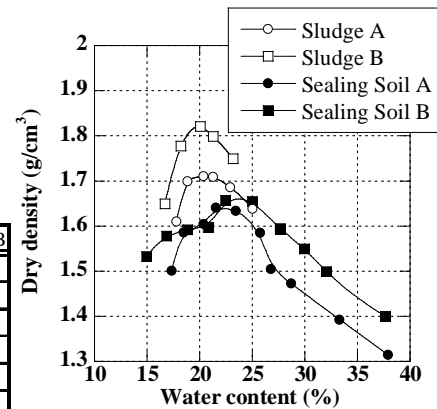


Fig.2 Results of compaction test

### 添加剤

Table 2 に重金属捕集能を持たせるための添加剤の配合率とその特徴を示す。添加剤は、陽イオン交換能をもつゼオライトに加えて、陰イオン交換能を持つハイドロタルサイト様化合物を添加する。ドロマイトは、材料の固結効果の期待できる添加剤である。また、標準的な添加剤の配合条件を脱水ケーキの乾燥質量に対してゼオライト 2%、ドロマイト 2%、ハイドロタルサイト様化合物 5%としている。

Table 2 Additive rate and efficacy

Addition agent	Additive rate (%)	Efficacy
Zeolite	2	Cation exchange capacity and heavy metal adsorption
Doromite	2	pH control
Hydrotalcite	5	Anion exchange capacity

## 検討内容

本研究では以下の4つの項目について検討を行った。

- (1) トラフィカビリティーの確認：初期含水比の高い脱水ケーキを用いるため、遮水工の施工では材料の持つトラフィカビリティーの確認が必要である。そこで今回は、材料の初期含水比がトラフィカビリティーに及ぼす影響について検討をコーン貫入試験により行った。標準配合における締固め曲線(Fig.2)の各含水比における最大乾燥密度から、締固め度  $D$  ( $D = d / d_{max}$ ) 80、90、95%で供試体を用いて行った。
- (2) 透水特性の検討：新しい遮水材料を処分場遮水工として用いるには、透水係数  $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$  以下が要求される。そこで、本研究では柔壁型変水位透水試験機を用いて検討した。実験では、初期含水比の影響に着目し、トラフィカビリティーの確認と同条件で供試体を作製し試験を行った。
- (3) 遮水材料の品質管理法の提案：上記の1)トラフィカビリティーの確認、2)透水特性の確認及び材料の締固め特性の結果から、処分場の遮水工として最適な材料の状態について考察する。特に、遮水材料の含水比と締固め特性から遮水材の強度と透水性の現場管理手法について提案する。
- (4) 長期耐久性の評価：重金属捕集能の持続力について Pb と Cr(VI) の平衡吸着試験及びカラム試験の結果から検討を行った。

## 実験結果

### トラフィカビリティーの確認

Table 3 に供試体作製条件を示す。Fig.3、Fig.4 に Sealing Soil A、B の各締固め度における  $q_c$  と初期含水比の関係を示す。 $q_c=1200(\text{kN/m}^2)$  以上を上回るためには、締固め度  $D=80\%$  では含水比約  $w=25\%$  以下、締固め度  $D=90\%$ 、 $95\%$  では含水比約  $w=30\%$  以下まで低下させることが必要であるとわかった。特に、締固め度  $D=80\%$  は極端に強度が低下している。このことから、脱水ケーキの初期含水比は 40~50% であるため、天日干しなどで含水比を低下させ、かつ十分な締固めを行うことが必要であるといえる。Sealing Soil B は、Sealing Soil A より高含水比で要求強度が得られている。これは、Sealing Soil B が Sealing Soil A に比べ最大乾燥密度が大きく締固め特性の良い材料であることが要因である。したがって、用いる脱水ケーキの締固め特性の把握が重要であることがわかる。

Table 3 Specimen making condition for Cone

	Water content (%)	Degree of compaction (%)
Sealing Soil A	22	80、90、95
	24	
	26	
	28	
	30	
	32	
	34	
Sealing Soil B	22	
	24	
	26	
	28	
	30	
	32	
	34	

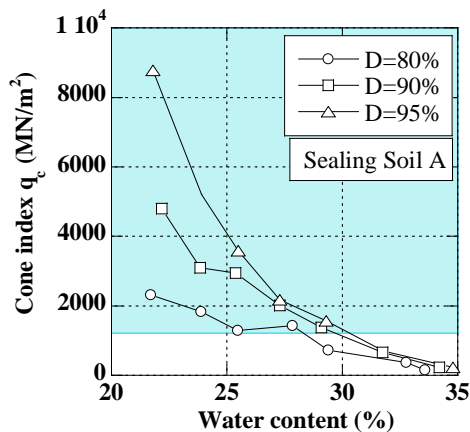


Fig.3 Cone index versus Water content

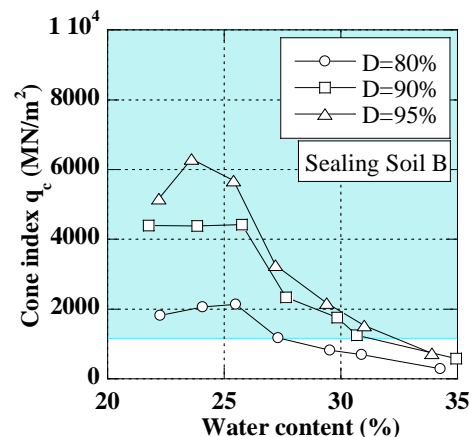


Fig.4 Cone index versus Water content

## 透水特性

遮水材としての適用性を評価するために変水位透水試験機を用いて、透水試験を行った。Table 4 に供試体作製条件を示す。Fig.5、Fig.6 に Sealing Soil A、Sealing Soil B の透水係数と初期含水比の関係を示す。どちらの脱水ケーキでも締固め度が大きくなると透水係数が小さくなっていることが分かる。また、透水係数に初期含水比の影響はみられない。我が国の処分場の粘土系遮水材には透水係数  $1 \times 10^{-6}$  cm/sec 以下と規定と比較すると、締固め度 D=95% では、どちらの脱水ケーキも処分場の遮水材に適用できることが示された。Fig.7、Fig.8 に Sealing Soil A、B の透水係数と乾燥密度の関係を示す。同じ初期含水比のものに着目すると、乾燥密度が大きくなると透水係数が小さくなっている。次に、供試体の乾燥密度が  $1.3(\text{g}/\text{cm}^3)$  で比較すると、含水比が大きいと透水係数が小さくなる傾向を示している。以上から、透水係数には初期含水比と乾燥密度が大きく影響を及ぼすことがわかった。また、透水係数  $1 \times 10^{-6}$  cm/sec 以下の処分場の遮水工を構築するためには、材料の締固め特性を把握することが重要であることが示された。

Table 4 Specimen making condition for Permeability

	Water content (%)	Degree of compaction (%)
Sealing Soil A	20	80, 90, 95
	22	
	25	
	30	
	35	
Sealing Soil B	20	
	24	
	28	
	32	
	36	

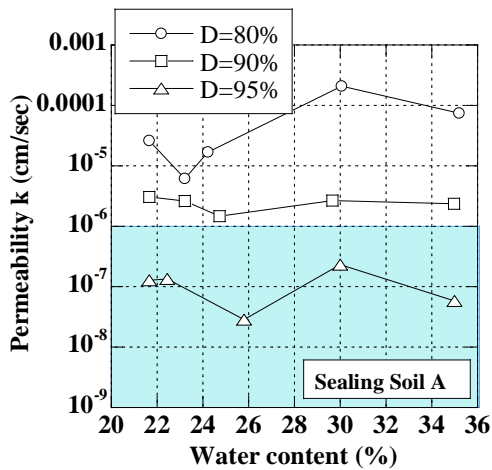


Fig.5 Permeability versus Water content

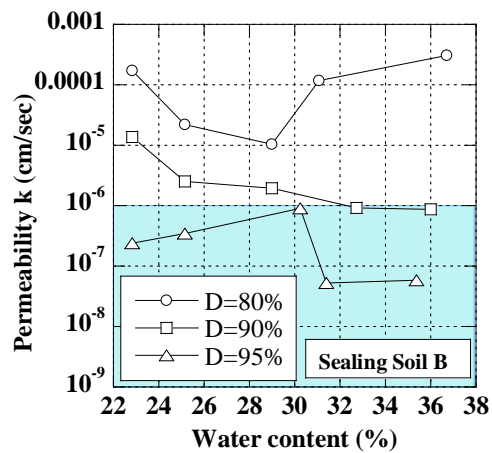


Fig.6 Permeability versus Water content

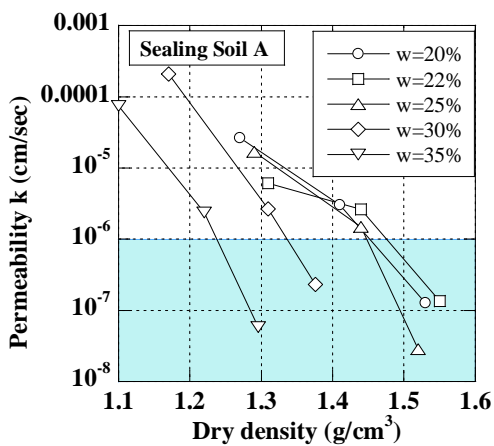


Fig.7 Permeability versus Dry density

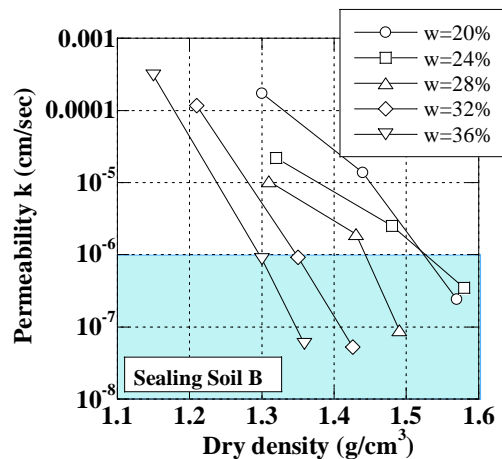


Fig.8 Permeability versus Dry density



## 重金属捕集機能の持続力評価

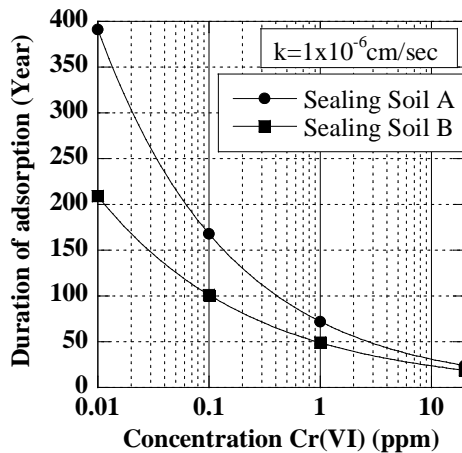


Fig.15 Duration of adsorption versus Concentration Cr(VI)

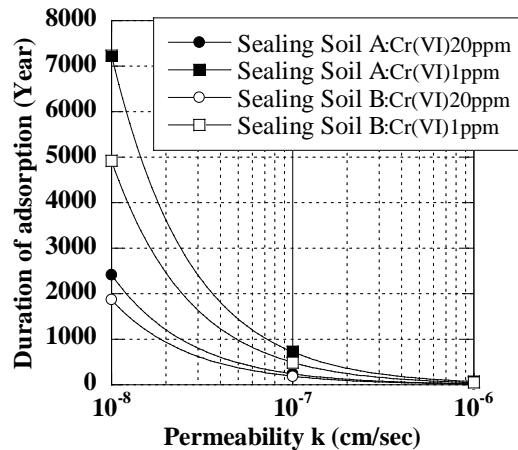


Fig.15 Duration of adsorption versus Permeability

遮水材料の添加剤による重金属吸着能力増加の効果を確認するために、Sealing Soil A、B を用いてカラム試験を行った。Fig.15、Fig.16 に Sealing Soil A と Sealing Soil B のカラム試験より得られた結果から、処分場の遮水材として用いた場合の吸着継続年数を求めた結果を示す。重金属吸着能は Sealing Soil A のほうが Sealing Soil B に比べ大きいことがわかる。どちらの脱水ケーキも Cr(VI)濃度 0.1mg/L 以下、または透水係数が  $1 \times 10^{-6}$  cm/sec 以下であれば吸着持続年数が 50 年以上となり、十分な重金属吸着能を持つといえる。このことより、遮水材料の要求性能を満たせば重金属吸着能も十分に満足できる。

## まとめ

初期含水比約 30%以下でトラフィカビリティーが確保できることから、排出された脱水ケーキを天日干しや現地発生土との混合処理で含水比低下をする必要がある。十分な締固めと含水比管理をすることにより透水係数  $1 \times 10^{-6}$  cm/sec 以下の遮水材の構築は可能である。遮水材料の乾燥密度と初期含水比でコーン指数と透水係数を整理することにより、施工時の材料の管理が容易になると考えられる。新しく開発した遮水材料は重金属捕集能を十分に持っている材料であることが示された。また、材料の強度の面からも長期耐久性は十分であることが示された。

謝辞：この研究にあたり、技術部の皆様方また福岡大学の先生方、卒論生にご協力いただき心から感謝しております。

## 文献

国際ジオシンセティックス学会日本支部ジオメンブレン技術委員会：ごみ埋立地の設計施工-しゃ水工技術, p202, 2000.

シーリングソイル協会：シーリングソイル工法, <http://www.sealingsoil.gr.jp/method/method01.html>, 地盤工学会：地盤調査法, p.367, 1995.