

チェーン回転式破碎混合工法（ツイスター工法） による遮水土層造成の実施例

佐藤 泰¹・芳澤秀明¹

¹正会員 日本国土開発株式会社 技術研究所（〒243-0303 神奈川県愛甲郡愛川町中津 4036-1）

地盤材料の破碎と添加材料との混合を効率的に行うことのできるチェーン回転式破碎混合工法（ツイスター工法）を廃棄物処分場の遮水土層製造に適用した。その結果、通常の施工、品質管理を行うことにより、必要な遮水性能をもつ遮水土層の造成が可能であり、同時に建設発生土を遮水土の母材として利用することにより建設発生土リサイクルの促進による環境保護を実現したといえる。本報文では、チェーン回転式破碎混合工法の概要と廃棄物処分場の遮水土層造成の実施例について紹介する。

キーワード：チェーン回転式破碎混合工法，遮水土，建設発生土，リサイクル，ベントナイト

1. はじめに

近年、最終処分場からの浸出水の漏洩等が大きな社会問題となっており、最終処分場の建設においては遮水工の安全性確保が重要なポイントとなっている。また、厚生省（現環境省）も平成10年6月の共同命令の改定に伴い、最終処分場の遮水構造として従来の2重遮水シートに、（水密アスファルトコンクリート＋遮水シート）、（粘土＋遮水シート）の構造を新たに追加した¹⁾。これらの遮水構造は、材質の異なる材料の組合せによって遮水構造を構築するもので、同一の要因により同時に破損するリスクを回避できる利点をもつ。さらに、（粘土＋遮水シート）構造には、遮水シートと粘土の短所を補完する効果があり、遮水シートは粘土層が浸出水に接する面積を最小限にし、粘土層は遮水シートの下地材として破損防止効果を持ち浸出水の流れを遅延させる。

一方、最終処分場の建設工事では、建設発生土を有効活用することは建設副産物の発生抑制の観点からも重要であり、特に、粘土層としては、汚染物質に対する減衰層としての機能や自己修復性による効果が期待されるベントナイトを現地発生土に混合したベントナイト混合土を採用することが増えている^{2)～5)}。

現地発生土を用いたベントナイト混合土で遮水土層を造成する場合、購入材と異なり、通常、分級や

乾燥あるいは添加材を添加するなどの前処理が必要となる。

今回、利用する現地発生土は礫分、細粒分が適度に含まれ粒度分布が広いもので遮水土材料として比較的良質な材料であるが、ベントナイトを混合して混合土を製造し遮水土層を構築するにあたり、従来の混合方法では前処理として礫と粘土塊の破碎が必要とされる。

そこで、混合方法として、礫と粘土塊の破碎とベントナイトとの混合を同時に行うことのできるチェーン回転式破碎混合工法を採用することによって、高品質な遮水土の製造と現地発生土の前処理の省略による工事費削減を可能とした。

2. チェーン回転式破碎混合工法の概要

(1) 工法の概要と特徴

チェーン回転式破碎混合工法は、円筒内で高速回転する複数本のフレキシブルなチェーンの打撃力で、地盤材料の破碎・細粒化（解砕）と、添加材料との均質な混合を同時に行うものである。図-1にチェーン回転式破碎混合工法の概要を示す。装置は高速回転する軸とこれを支え材料の飛散を防ぐケーシング（円筒）から構成されている。高速回転する軸には、1段あたり4本のチェーンが多段に設置されていて、破碎混合する材料に応じて本

数を変えられる構造である。また、チェーンの回転数は0～1000rpmの範囲で可変であり、チェーンの回転数を変化させることによって材料の破碎効果を調整できる。

この工法はフレキシブルなチェーンを破碎混合装置として採用していることから、建設発生土に限らず、アスファルトガラ、コンクリートガラ、脱水ケーキ、石炭灰などの産業廃棄物に至るまで広範囲の材料に適用できる。

本工法の特徴をまとめると次のとおりである。

- ① 地盤材料の破碎・細粒化（解砕）と添加材料との混合を同時に行うことができる。
- ② 軟岩から粘性土（粘土塊）まで破碎混合できる。
- ③ チェーンの回転数、段数、本数を変化させることにより、広範囲な地盤材料に適用可能である。
- ④ 破碎混合方法がシンプルで、維持補修が容易である。
- ⑤ ベルトコンベヤ搬送システムとの組み合わせにより連続大量施工が可能である。
- ⑥ 装置がコンパクトであり、運送、設置、解体が容易である。

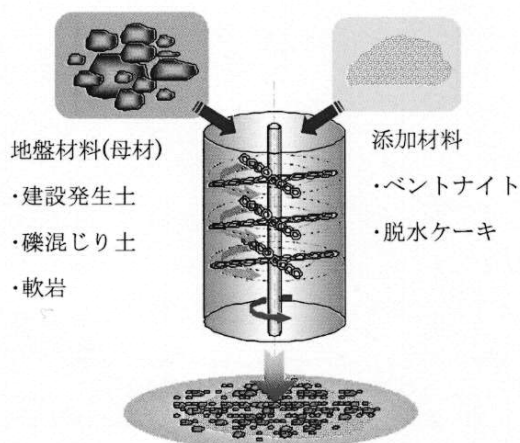


図-1 チェーン回転式破碎混合工法の概要

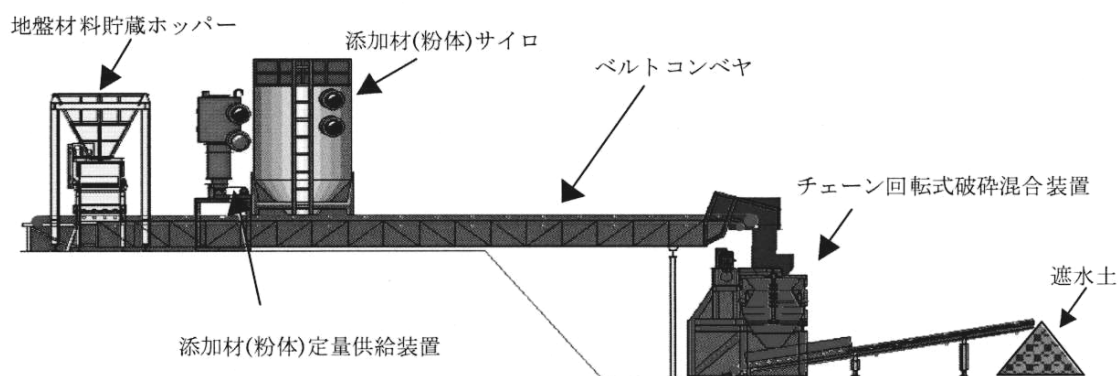


図-2 チェーン回転式破碎混合工法のシステム構成

(2) システム構成

チェーン回転式破碎混合工法のシステム構成を図-2に示す。システムは地盤材料貯蔵ホッパー（定量供給フィード付、複数基設置可能）、添加材（粉体）サイロ、添加材（粉体）定量供給装置、材料搬送装置（ベルトコンベヤ）、チェーン回転式破碎混合装置から構成されている。材料のホッパーへの供給と破碎混合後の材料の積み込みは、通常汎用機械のバックホウを用いる。

3. 実施例

(1) 処分場の概要

対象とした処分場は、埋立容量約87,000m³、遮水土数量約2,500m³の一般廃棄物最終処分場で、底部の遮水土構造は図-3に示すようにベントナイト混合土（遮水土）、短繊維不織布、遮水シート、長繊維不織布、面透水性材、長繊維不織布、遮水シート、短繊維不織布の8層構造となっており、その上に50cmの保護砂が設置される。なお、遮水土の施工管理基準は、透水係数 1×10^{-6} cm/s以下、遮水土層厚60cm以上である。

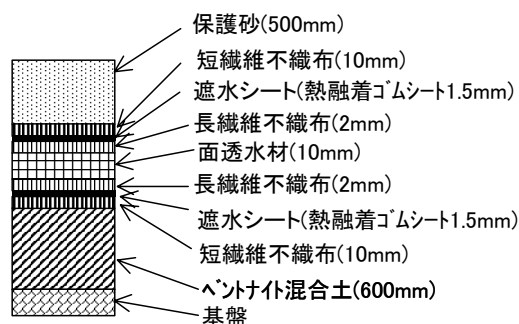


図-3 遮水土構造断面図

(2) 室内配合試験

室内配合試験は使用材料の基本物性およびベントナイト混合土の透水特性を把握することを目的として行

った。ベントナイトは Na 型の山形産と群馬産のものについて検討した。室内目標透水係数は現場条件を考慮して、 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 以下とした。

表-1 に使用材料の物理特性を示す。図-4 に使用材料の粒度分布を示す。材料として使用する現地発生土は凝灰質角礫岩とこれが粘土化したものから成り、「細粒分質砂質礫」に分類される。

表-1 使用材料の物理特性

項 目		現地発生土	ベントナイト	
			群馬産	山形産
土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$		2.799	2.651	2.589
自然含水比 $w_n(\%)$		24.9	8.0	8.9
粒度	礫分 (%)	31.1	0.0	0.0
	砂分 (%)	24.6	0.0	0.0
	細粒分 (%)	44.3	100.0	100.0
	最大粒径 $D_{\max}(\text{mm})$	53.0	0.075	0.075
コンシステンシー	液性限界 $w_L(\%)$	72.1	284.5	473.9
	塑性限界 $w_p(\%)$	28.0	27.0	26.6
土質分類	分類名	細粒分質砂質礫	粘土	粘土
	記号	GFS	CH	CH
締固め	最適含水比 $w_{\text{opt}}(\%)$	23.1	—	—
	最大乾燥密度 $\rho_{\text{dmax}}(\text{g/cm}^3)$	1.616	—	—

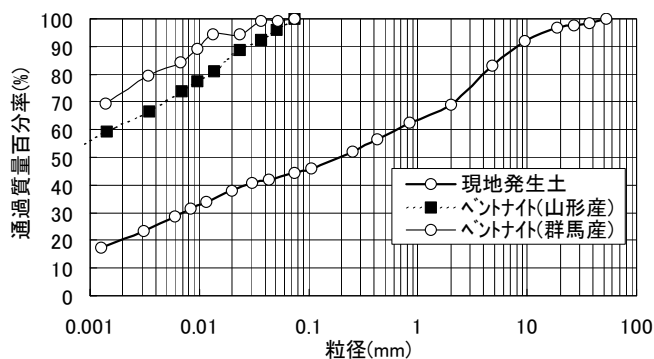


図-4 使用材料の粒度分布

図-5 にベントナイト添加率と透水係数の関係を、図-6 に群馬産ベントナイトの場合の締固め度と透水係数の関係を示す。

図-5 から、ベントナイト添加率の増加に伴い透水係数が低下する傾向があり、添加率 3 % を越すと透水係数の低下度合いは小さくなっている。また、ベントナイトの種類による透水係数の違いはみられず、群馬産と山形産ではほとんど同等である。

図-6 から、透水係数に及ぼす締固め度の影響は大きく、締固め度が大きいほど透水係数は小さくなる。

試験盛土を造成するに際し、ベントナイト添加率と締固め度のバランスを考慮して、群馬産ベントナイトの配

合はベントナイト添加率 6 %、締固め度 96 % 以上とし、膨潤性の高い山形産ベントナイトでは、ベントナイト添加率 5 %、締固め度 96 % 以上とした。

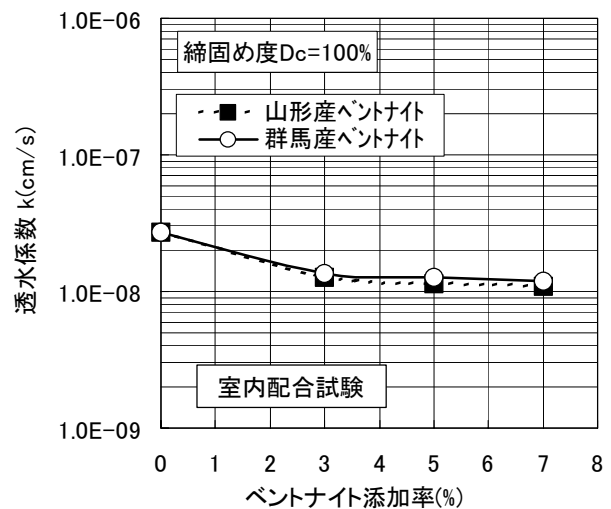


図-5 ベントナイト添加率と透水係数の関係

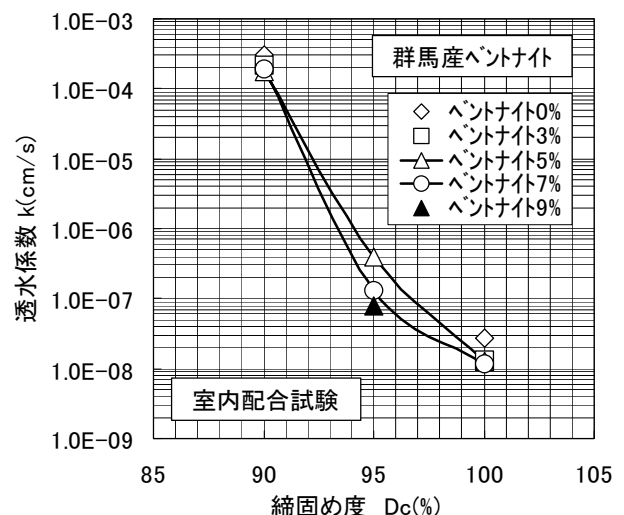


図-6 締固め度と透水係数の関係(群馬産ベントナイト)

(3) 試験盛土

試験盛土は、室内配合試験によって定めた配合のベントナイト混合土を実施工のプラント、機械を用いて製造、撒き出し、転圧した場合の透水係数を求め、施工時の施工方法を検討することを目的として実施した。試験ヤードを図-7 に示す。

写真-1 に示すチェーン回転式破碎混合装置（内径 1500mm、最大処理能力 50 m^3/h 、付着掻き取り機能付き）で製造したベントナイト混合土は 4t ダンプトラックでベントナイト種類別の試験盛土ヤードに運搬し、0.7 m^3 バックホウで敷き均した後、3.6 t 振動ローラで転圧（転圧回数 4, 8, 12 回）し、1 層仕上がり厚 20cm として 2 層

分施工した。図-8に転圧回数と締固め度の関係を、図-9に現場採取試料の締固め度と透水係数の関係を示す。

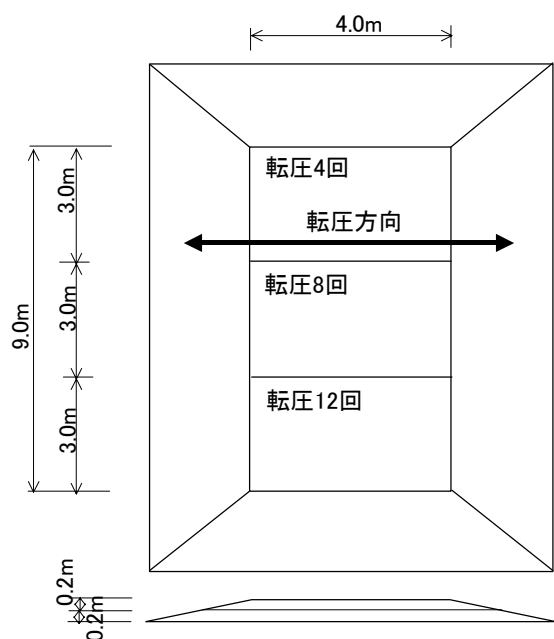


図-7 試験ヤード



写真-1 チェーン回転式破碎混合装置

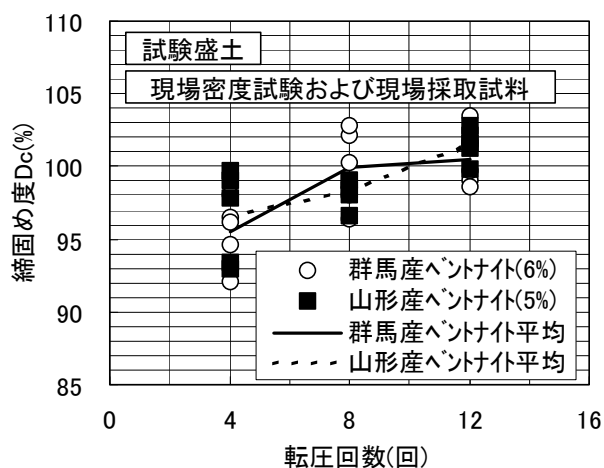


図-8 転圧回数と締固め度の関係

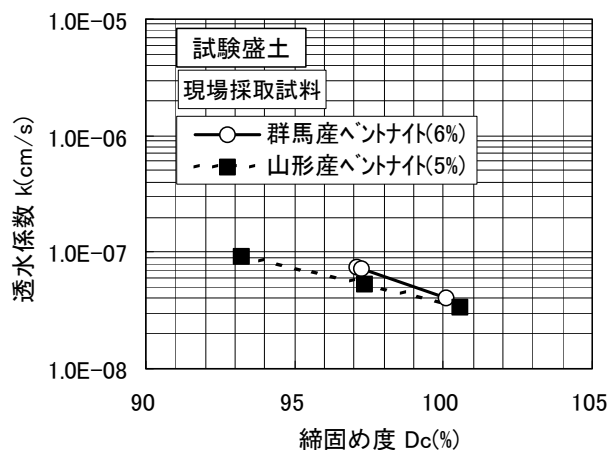


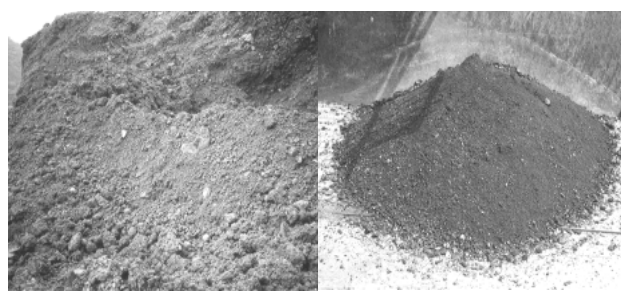
図-9 現場採取試料の締固め度と透水係数の関係

図-8から、転圧回数の増加に伴い締固め度は増加しており、ベントナイトの種類によらず転圧回数8回で締固め度96%以上である。また、図-9から、ベントナイト混合土の透水係数はベントナイトの種類によらず締固め度の増加に伴い小さくなっている。群馬産ベントナイト（添加率6%）では締固め度96%以上、山形産ベントナイト（添加率5%）では締固め度93%以上で透水係数 1×10^{-7} cm/s 以下を満足している。

(4) 実施工

試験盛土の結果と、材料となる現地発生土の土性が変化する場合を考慮して、ベントナイトは膨潤量の大きい山形産ベントナイト（添加率5%）を採用した。ベントナイト混合土の製造は試験盛土と同様にチェーン回転式破碎混合装置により行い、転圧は1層につき転圧回数8回以上として行い、3層分施工した。なお、密度管理基準は、試験盛土の結果から、自主管理基準締固め度96%以上とした。

写真-2に現地発生土とベントナイト混合土を、写真-3に施工状況（水平部転圧状況）を示す。なお、斜面部では図-10に示すように所定の高さまで階段状に振動ローラで転圧した後、バックホウにより余盛部を撤去して整形した。



現地発生土

ベントナイト混合土

写真-2 現地発生土とベントナイト混合土



写真-3 施工状況（水平部転圧状況）

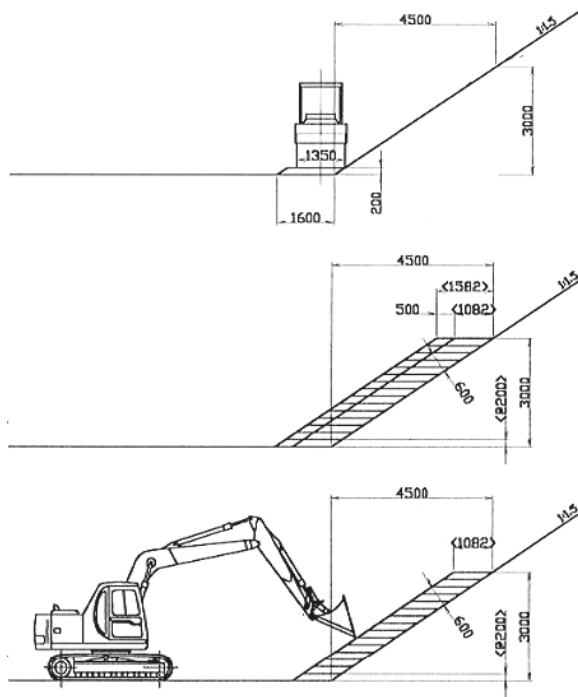


図-10 斜面部施工状況

施工管理項目を表-2に示す。

ベントナイト混合土の品質管理として、製造時に現地発生土の含水比試験およびベントナイト含有量試験（メチレンブルー吸着量による方法と電気伝導度による方法⁶⁾）を行い、所定量のベントナイトを含んでいることと混合のばらつきが少ないこと（変動係数 10%程度）を確認した。図-11にベントナイト含有量試験結果を示す。

密度管理は、現場密度試験（砂置換法）により行い、ベントナイト混合土の締固め度が 96%以上であることを確認した。図-12に現場密度試験結果を示す。

遮水性管理はコアを採取して室内透水試験により行い、透水係数が $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下であることを確認した。図-13に実施工での締固め度と透水係数の関係を示す。

以上の結果から、締固め度は 100%以上、透水係数は $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 以下であり、目標の 1 オーダー上回る遮水性のある遮水土の製造と施工が行えた。

表-2 施工管理項目

採取場所	試験項目	試験方法	試験頻度	品質管理基準
プラント	含水比	赤外線水分計	2回/1日	—
	ベントナイト含有量	メチレンブルー吸着量試験	1回/800m ³	5%以上
		電気伝導度法（自主試験）	（1回/1日）	
盛土	締固め度	現場密度試験（砂置換法）	1回/800m ³	96%以上
	含水比			—
	透水係数	透水試験（変水位法）		$1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 以下

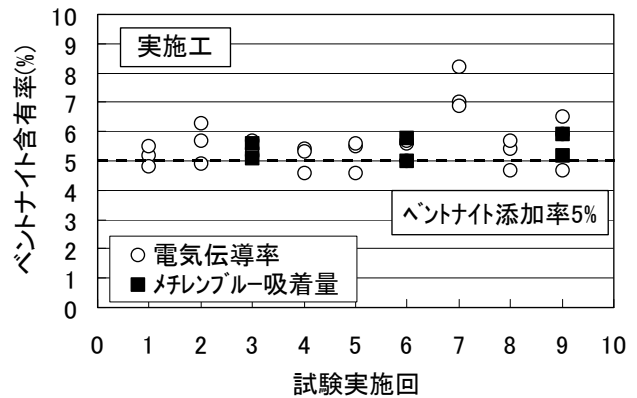


図-11 ベントナイト含有量試験結果

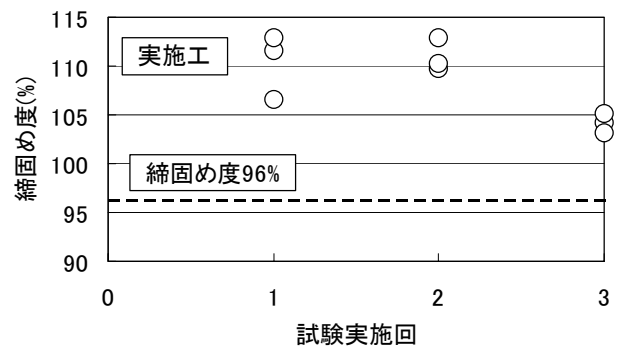


図-12 現場密度試験結果

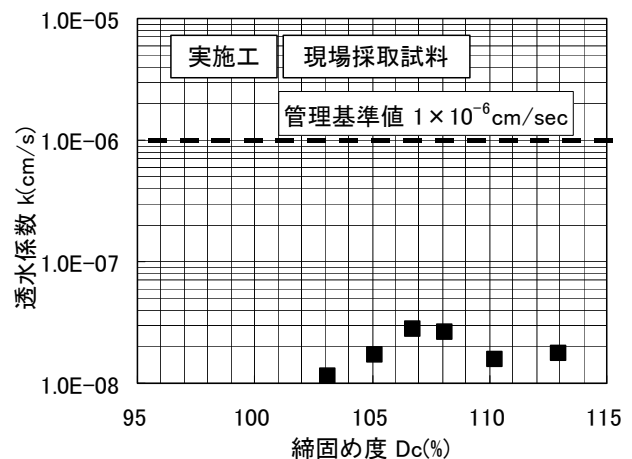


図-13 実施工での締固め度と透水係数の関係

4. まとめ

チェーン回転式破碎混合工法（ツイスター工法）により製造したベントナイト混合土を実際の廃棄物処分場の遮水土に適用し、均質で目標を上回る遮水性能を持つ遮水土が施工できることを確認した。

この工事は、チェーン回転式破碎混合工法による遮水土を実際の現場に適用した最初の実績である。使用材料が細粒分質砂質礫であることから、従来の施工機械では礫分、粘土塊の破碎とベントナイトとの均質な混合は困難であり、この工法に適した材料であったといえる。今後は、破碎と混合が同時に行える特長を生かして、建設発生土の有効利用やアスファルトガラ、コンクリートガラあるいは脱水ケーキなど通常の地盤改良機や混合機械では施工が困難な材料条件での実施例を増やして本工法の適用範囲を広げるとともに、建設分野におけるリサイクルに貢献したいと考える。

参考文献

- 1) 総理府, 厚生省: 官報 (号外) 平成 10 年 6 月 16 日, 大蔵省印刷局, 1998
- 2) 吉崎幹人, 遠藤正弘, 西山勝栄: 最終処分場におけるベントナイト混合土による土質遮水層の構築方法, 第 36 回地盤工学研究発表会, pp. 2529~2530,

2001. 6

- 3) 永野宏雄, 森井慶行, 酒井 晃, 下村由次郎: 管理型最終処分場のしゅ水工の施工 その 1, 土木学会 第 53 回年次学術講演会第Ⅲ部, pp. 826~827, 1998. 10
- 4) 水野克己, 河本弘文, 本郷隆夫, 佐藤文俊, 中村隆浩, 高橋 修: 最終処分場における遮水シートと高配合ベントナイト混合土の 3 層構造の遮水システムの開発及び施工例, 第 8 回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp. 824~827, 1997
- 5) 田村孝雄, 藤田博美, 越智義夫, 加藤隆也, 押方利郎, 下村雅則, 押田常行, 天野健次: 現地混合によるベントナイト混合土遮水バリアの透水特性, 第 9 回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp. 870~873, 1998
- 6) 中島典昭, 芳澤秀明: 電気伝導度によるベントナイト混合土のベントナイト量の簡易測定法の検討, 土木学会第 56 回年次学術講演会第Ⅲ部, pp. 598~599, 2001. 10