アスファルト・ベントナイト混入吹付け材による 遮水層構築技術の開発

藤原斉郁・樋口雄一・檜垣貫司・森 雄治*1・臼井直人*2・押方利郎*2

Keywords: landfill, liner, asphalt, bentonite, spray, steep slope 最終処分場,遮水層,アスファルト,ベントナイト,吹付け,急斜面

1. はじめに

廃棄物最終処分場などで法面部に遮水層を構築する場 合,限られた用地内で埋立容量を確保するために法面勾 配を2割(1:2.0)程度の急勾配とする傾向にある.こ の場合,ベントナイト混合土等の土質系材料による遮水 層では、材料の締固め方法、降雨による侵食等が問題と なる、そこで筆者らは、これらの問題を解決する方法と して,新たに,従来のベントナイト混合土にアスファル ト乳剤を混入したアスファルト・ベントナイト混入遮水 材の吹付け施工による遮水層構築方法を開発した¹⁾.こ れは,アスファルト乳剤の混入により遮水材に溌水性お よび粘着力を持たせ,遮水性と耐侵食性を両立させたも のである.また,吹付け施工による構築のため,ベント ナイト混合土よりも急斜面など施工可能な条件の範囲の 拡大が期待できるものである.本論文では,本工法の概 要,室内試験による吹付け材の材料特性,および実際の 処分場の一画にて実施した敷設実証実験結果について述 べる.

2. 工法の概要

2.1 吹付け遮水材の概要および目標性能

ベントナイト混合土による遮水層は,現地発生土な どの土質材料に一定量のベントナイトを添加し,転圧に より所定の密度に締固めることにより遮水性を発揮する ものであり,廃棄物最終処分場の遮水工としての適用実 績も増えている.このベントナイト混合土を法面に施工 する場合には確実に転圧することが重要であり,振動ロ ーラーなどの重機による転圧を想定した場合,法面勾配 が3割(1:3.0)程度以下であれば特に問題はないが,

*1 土木本部土木技術部

2 割(1:2.0)以上の急勾配となると段切りを施し転圧 した後に所定の勾配の法面に整形するなどの工夫が必要 となる.また,ベントナイト混合土は斜面上に敷設した 後,降雨に曝されると雨量によっては侵食を受ける場合 がある.混合土の敷設後,速やかに上部遮水シートを敷 設する場合には問題ないが,工程上,遮水シートの敷設 までに日数を要する場合には,遮水材に耐侵食性を持た せることが必要となる.こうした背景から,遮水材に溌 水性および粘着力を持たせることによって耐侵食性を高 めるとともに,吹付け施工により法面上で締固めを必要 としない材料として,従来のベントナイト混合土にアス ファルト乳剤を添加した吹付け材料を開発することとし た.

吹付け遮水材に求められる性能としては,最終処分 場に用いられる表面遮水工に対する構造基準(基準省 令)²⁾等に準拠した構造物となるように,透水係数, 一軸圧縮強度,施工層厚など,表-1に示す目標を設定 し,室内試験及び吹付け実験により,これらを満足する ものとして表-2に示す材料および配合を選定した.な お,アスファルト乳剤に添加されている乳化剤は,天然 高級エーテルを主原料としたもので,いわゆる環境ホル モンに該当せず,ラットに対するLD50値が5,000mg/kg 以上で「実際上毒性なし」に分類されている安全な材料 である.

2.2 施工方法

図-1 に遮水構造模式図を示す.今回の吹付け遮水材 による遮水層の構築手順としては, 法面から湧出する 地下水の対策を行なった後, 低品位モルタル等による 下地処理を行い, その上にアスファルト・ベントナイ ト遮水材を吹付け, さらに,一般的な最終処分場用の 遮水構造物としては,この上に直接遮水シートを敷設す ることとなる.図-2 にアスファルト・ベントナイト材

^{*2} エコロジ-本部

表-1 遮水材の目標性能

Target performance of liner

i al get per ter manee en mier				
項目	目標性能	備考		
透水係数	1×10 ⁻⁷ cm/s 以下	構造基準 5)イ(1)(ロ)		
一軸圧縮強度	50 kN/m² 以上	斜面安定性の検討よ り		
施工目標層厚	8 cm 以上			
最低層厚	5 cm 以上	構造基準 5)イ(1)(口)		

表-2 吹付遮水材の配合(出来上り1m³あたり)

Mixture of liner

材料	砂	ベントナイト	アスファル ト乳剤	水
仕様	細骨材	群馬産 250 メッシュ	ノニオン系	水道水
配合量	1,369 kg	137 kg	171 Jyhl	94 Jyhl



図-1 遮水構造模式図

Structure of impervious layer



の吹付け施工方法の概要図を示す.図のように,所定の 配合の砂,ベントナイト,および調整水を強制練りミキ サにより混練した後,空気圧送し,別系統でポンプによ り送られたアスファルト乳剤と先端ノズルで混合させな がら吹付けを行う.

3. 吹付け遮水材の材料特性

3.1 吹付け試験

3.1.1 試験概要

吹付けノズルまでの材料の圧送性,吹付け施工性, 吹付け層の均質性などの確認を目的とした吹付け試験を 実施した.試験は表-2 に示した配合の砂,ベントナイ トおよび調整水を混練し,2インチ管で空気圧送した材 料と,スクイズポンプにより別系統で送ったアスファル ト乳剤を先端ノズルで混合し,実験ヤードにて法面(幅 10m×法長7m,法面勾配1:1)に吹付けた.その結果, 材料の圧送性,吹付け施工性において特に問題がないこ とが確認された.また,吹付け施工された遮水層の透水 試験および強度試験用の試料として,吹付け1日後,法 面にサンプリングチューブ(内径 5cm)を押し込み, サンプリングを行った.

3.1.2 一軸圧縮強度

吹付け材の材令7日における一軸圧縮強度は,図-3 に示すように多少の変動を含むものの,いずれも目標強 度である50kN/m²を上回っていた.また,一軸圧縮強度 は乾燥密度の大きいものほど大きい傾向があるが,これ は強度が砂およびベントナイトで構成される骨格の密度 に依存するためであると考えられる.

3.1.3 透水係数

図-4 に示すように,透水係数はすべての試料で目標 値である 1×10⁷cm/s 以下を満足しているが,乾燥密度 と透水係数には明確な相関がみられなかった.これは, 透水係数は,密度だけでなく間隙寸法の分布やベントナ イトの膨潤程度など他の要因にも依存しているためと考 えられる.

3.1.4 材料の均質性

本吹付け材料は,先端ノズルで材料を混合する点, および圧送圧により締固めている点で,遮水層の仕上り の均質性など品質の変動が大きいことが予想された.そ こで上記試験の終了後,供試体に含まれるアスファルト 分およびベントナイト分をそれぞれソックスレー抽出法, メチレンプルー法により調査した.図-5 にアスファル ト乳剤量およびベントナイト量と計画配合量との比を示 すが,アスファルト乳剤量の変動幅が大きいものの,お およそ 0.8~1.2 の範囲にあり平均値はいずれも1を上回 っていた.本結果および前述の透水試験結果から,品質 の変動を見込んだ上で配合設計をすることにより,吹付 け施工による遮水層の品質を確保することは十分可能で あると考えられる.

大成建設技術センター報 第 35 号(2002)



Variation of asphalt bentonite contents



3.2.1 一軸圧縮強度および割裂引張強度

本吹付け遮水材では,セメント等の固化材を混合し た場合とは異なり,強度増加は,主にアスファルト乳剤 の分解に伴い発生する自由水が蒸発することに起因する ことから,強度は含水比と強い相関があるものと思われ た.そこで,室内試験により,材令による含水比および 強度の変化について把握した.試験に用いた供試体の寸 法は,一軸圧縮強度用は 50×h100mm,割裂引張用は

50×h50mm とし,モールド内に所定の密度(湿潤密 度 t =1.8g/cm³) に締固めた後,直ちに脱型し,所定の 材令まで常温(20)にて気中養生した.図-6 および 図-7に材令と含水比・強度の関係を示す.含水比は材

令 30 日までに 2%以下まで急激に低下した後,徐々に 低下していた.また,強度は一軸圧縮,割裂引張とも材 令 90 日までは上昇傾向にあり,それ以降についてはバ ラツキはあるもののほぼ横ばいであった.図-8 に含水 比と強度との関係を示すが,含水比の低下とともに強度 が増加している傾向がわかる.なお,各供試体の脱型時 と強度試験時とで寸法を測定し比較したところ, 収縮は 見られず,砂,ベントナイトおよびアスファルトで構成 される骨格は含水比の変化に対して比較的堅固であった. 3.2.2 温度の影響

100 材令(日)

B

100 材令(日)

6 含水比(%)

150

•

150

- 軸圧縮

2.00

割裂리럒

-0

一軸圧縮 割裂引張

10

12

•

200

遮水層の施工後から廃棄物の埋立てまでの日照の影 響や,埋立て後の廃棄物に含まれる有機物等の自然分解 により遮水シート近傍の温度の上昇が見込まれる.そこ





図-11 含水比と一軸圧縮強度の関係 Strength - water content relation with various curing conditions

で,温度上昇による物性の変化について試験を行った. 試験は供試体(50×h100mm)を常温(20)にて気 中養生した後,養生温度を約10日おきに40,60,80 に変化させ供試体寸法を測定した.寸法測定により算出 した体積比と温度変化のグラフを図-9に示す.図から 温度上昇により,非常にわずかではあるが膨張ではなく 収縮の傾向が見られた.このことは,温度上昇による膨 張よりも含水比低下によるアスファルト乳剤の分解に伴 う収縮の影響が大きいためと推察される.

3.2.3 凍結融解の影響

凍結が生じる寒冷地での施工を想定し,凍結融解の影響について試験を行った.試験は強度試験と同様に作成した 50×h100mmの供試体を28日間気中養生し,基



本的に-15 で4日間,常温(20)で4日間の計8日 間を1サイクルとした,1,2,5,10,15,18サイクル における一軸圧縮試験を行った.図-10に凍結融解によ る一軸圧縮強度の変化を示す.図中には気中養生による 試験結果も載せているが,凍結融解に伴う顕著な強度低 下は見られなかった.また,各サイクル毎の常温時にお ける供試体寸法を測定したところ変化は見られなかった ことから,凍結時に供試体が非可逆的な体積変化するよ うな状況ではないことが推察される.

気中養生,前述した凍結融解および高温履歴を受けた 供試体の各一軸圧縮強度試験の結果を取りまとめたもの を図-11 に示す.図から強度に関しては温度・凍結の履 歴の影響はほとんど見られず,いずれもアスファルトの 分解に伴う含水比低下の影響が大きいことがわかる.図 -12 には一軸圧縮強度と弾性係数(E₅₀)との関係を示す が,同様に温度・凍結の影響はほとんど見られなかった. 3.2.4 油分溶出量

アスファルトの油分が溶出し周辺に影響を及ぼすこと が懸念されたため,締固め供試体に対する溶出試験を行った.溶出試験では,異なる材令の供試体に対しノルマ ルヘキサン抽出物を測定した.結果を図-13 に示す.図 から溶出量にバラツキが見られるが,道路用加熱アスフ ァルト混合物の油分溶出量(13mg/L 程度)とほぼ同 程度もしくはそれ以下であり,実用上問題のないレベル



写真-1 遮水材吹付けプラント General view of spraying plant



写真-2 遮水材吹付け後の全景(九州地区A処分場) Liner at the test site

にあることがわかる.

4. 現場敷設実証実験

4.1 実験概要

九州地区A処分場で実施した処分場再生システム実証 実験^{3)~5)}において本遮水材の吹付け実証実験を行った. 実験では埋立て済みの廃棄物を除去し法面を露出させ, 1割(1:1.0)勾配に整形した幅10m×法長7mの斜面 に,本遮水材を吹付けた.遮水材吹付けプラントを写真 -1に,吹付け直後の状況を写真-2に示す.

4.2 遮水層の特性

4.2.1 遮水性能および強度

吹付け直後,15 ヶ月,45 ヶ月,75 ヶ月経過後の時 点で,コアカッターを用いて4箇所からサンプリングを 行い,透水係数および一軸圧縮強度を測定した.表-3 は透水係数の測定結果で,含水比が高い敷設直後を除け ば,目標値を満足していた.表-4 は一軸圧縮強度の測 定結果で,いずれの材令でも目標値 50kN/m²を満足して いた.

4.2.2 層厚

図-14 は,立体画像計測システム⁶⁾による計測結果に

表-3 透水係数の測定結果(単位:×10⁻⁷cm/s) Coefficient of permeability

材令	測定値	平均
直後	1.6 ~ 15	7.6
1.5 月	0.038 ~ 0.91	0.41
4.5 月	0.031 ~ 0.62	0.25
7.5 月	0.026 ~ 0.58	0.28

表-4 一軸圧縮強度の測定結果(単位:kN/m²)

Unconfined compressive strength

材令	測定値	平均
直後	46~128	85
1.5 月	139 ~ 228	175
4.5 月	160 ~ 356	245
7.5 月	116 ~ 288	178

□ 8 ~ 10cm □ 10 ~ 12cm □ 12 ~ 15cm □ 15 ~ 18cm □ 18cm ~



Distribution of the liner thickness



基づいて作成した遮水層厚のコンター図である.層厚は 全面において施工目標値 8cm を上回っていることが確 認された.

4.2.3 伸縮

遮水層上に 6 点の標点を設置し,隣接する標点間の距 離 11 箇所を経時的に測定した.測定結果から最小 2 乗 法により各標点の座標値を算定し,伸縮の様子を示した 結果が図-15 である.変位量は伸張側,収縮側ともに最 大でも 3~4mm 程度で,測点間の距離 3.0~3.6m に対し 0.1%であった.なお,敷設実験の実施場所は,気候と しては高温多雨の非常に過酷な条件(4~10 月の平均気 温:25.3 ,11 月~3 月の平均気温:16.7 ,年平均降 雨量:2,300 mm)であり,伸縮量の測定結果は 11 月か ら7月にかけて行ったものである.

4.2.4 外観

実験期間中において,これまでに降雨の影響によるガ リ侵食の痕跡は全く確認されなかった.これは,アスフ ァルト分が材料同士の粘結材として働き,耐侵食性を発 揮したためと考えられる.

5.まとめ

アスファルト乳剤,ベントナイト,砂,水から成る吹 付け遮水材を開発し,要素試験および吹付け実験を通じ, その性能を確認した.本研究の結果を以下に示す.

- (1) 吹付けによる施工であるために配合の変動は不可避 と思われるが,変動率は 0.8~1.2 程度であり,この 変動を見込んだ上で配合設計を行えば,所定の目標 強度,目標透水係数を満足させることが可能である.
- (2) 要素試験の結果,本遮水層はアスファルト,ベント ナイト,砂で構成される骨格が比較的堅固であるため,所定の目標強度を満足していた.
- (3) 今回の試験範囲では,本材料は温度の影響および凍結融解の影響はほとんど見られず,一軸圧縮強度や 変形係数の低下はみられなかった.

- (4) 本吹付け材料から溶出する油分は道路用アスファル ト混合物とほぼ同程度であり、実用上の問題のない レベルであった。
- (5) 1割勾配の法面に対する敷設実証実験を実施し,透水係数,一軸圧縮強度,層厚が目標性能を満足することを確認した.

今後は,より高品質な遮水層構築のための配合の見直 しによる検討を行う予定である.

本研究の遂行にあたり, ライト工業株式会社, 東亜道 路株式会社,株式会社ホージュン関係各位の御協力を賜 った.また,九州地区A処分場にて実施した敷設実証実 験は,環境事業団「次世代廃棄物処理技術基盤整備事 業」による助成を受けたもので,委員各位より貴重なご 御意見を賜った.ここに記して謝意を表する.

参考文献

- 1)樋口雄一,押方利郎,臼井直人,海老原正明,森雄治,西澤修一,有 賀度,木間正夫,中野裕司,吉武美智男,古賀愼:アスファル ト・ベントナイト混入遮水材の吹付施工および品質評価,第 56回土木学会年次学術講演会概要集 VII, pp. 44 - 45, 2001.
- 2)総理府,厚生省:一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の 最終処分場に係わる技術上の基準を定める命令,1998.6.15
- **3)** 押方利郎:廃棄物最終処分場再生システム,新政策, Vol.15, No.6, pp. 74 77, 2000.
- 4) 樋口雄一, 押方利郎, 臼井直人, 森雄治:最終処分場の適正化お よび減容化による再生技術,第4回環境地盤工学シンポジウ ム発表論文集, pp. 285 - 290, 2001.
- 5) 樋口雄一, 臼井直人, 押方利郎, 森雄治:廃棄物最終処分場再 生システム実証実験,第12回廃棄物学会研究発表会講演論 文集, Vol.2, pp. 1048 - 1050, 2001.
- 6)西澤修一:画像制御によるノンプリズム・レーザー計測シ ステム,測量, Vol.4,日本測量協会, 2000.