

旭川市廃棄物最終処分場におけるベントナイト混合土の施工管理事例

The construction management of the Bentonite Mixture Soil Liner in Landfill site of Asahikawa

飛鳥建設(株) 正員 松崎 達也
 西武建設(株) ○正員 新井 靖典
 西武建設(株) 正員 成島 誠一
 (株)ホーゲン 正員 水野 克己
 岡山大学環境理工学部 フェロー 花村 哲也

1. はじめに

近年、廃棄物最終処分場の遮水構造にベントナイト混合土(以下BMSLと記す)と、遮水シート(以下GMと記す)を用いた複合しゃ水構造が適用されている。その背景として、事業者と地域住民との合意を形成するうえで、ベントナイトの持つ耐久性、安全性が最終処分場の信頼性向上に寄与していることが一因としてあげられる。その一方で、BMSLの施工管理、品質管理に関する手法は、公的な指針やマニュアルなどの整備が遅れており、工事施工会社独自の手法によって管理されているのが現状である。本稿では旭川市廃棄物最終処分場工事でおこなった施工、品質管理をととしてBMSLの管理手法を提示するとともに、廃棄物最終処分場の供用開始後に廃棄物の埋立てがBMSLに与える影響について述べる。

2. 処分場の概要

本処分場は北海道旭川市に位置する山間谷部の管理型最終処分場である。施設の規模は埋立面積 13.2 万 m²、埋立容量 184 万 m³ であり、供用開始後の埋立期間は 15 年である。遮水工の標準断面(底面部、2 割法面部、4 割法面部)を図-1に示す。本処分場の遮水断面は遮水シートが破損した場合のリスクに応じて安全性の異なる断面を採用していることが特徴である。処分場の各箇所を浸出水の滞留するリスクが高い順から『池→川→

丘→山』と定義し、専門知識の無い一般市民に対してもわかりやすい設計思想のもとで遮水断面を決定している。これらの遮水構造の『池、川、丘』にあたる箇所、すなわち処分場内の平坦部、および 4 割法面部にBMSLが採用された(図-2)。BMSLの施工面積は法面部、平坦部の合計が 56,056m² であり、BMSL層の厚さは各断面ともに 50cm である。敷設作業は 1 層あたり 25cm でおこない、2 層を施工して 50cm のBMSLを構築した。本処分場におけるBMSLの要求性能は透水係数 $k = 1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ であり、原料土は購入土(砂質系旭川産火山灰)とし、ベントナイトは膨潤性に優れたUS A 産 Na 型(スーパークレイ)を採用した。表-1

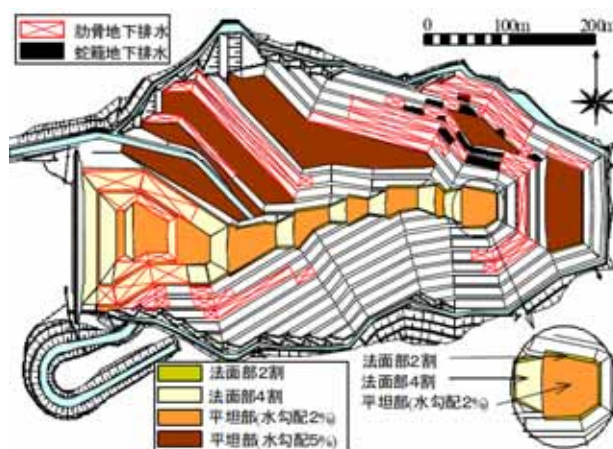


図-2 処分場平面図

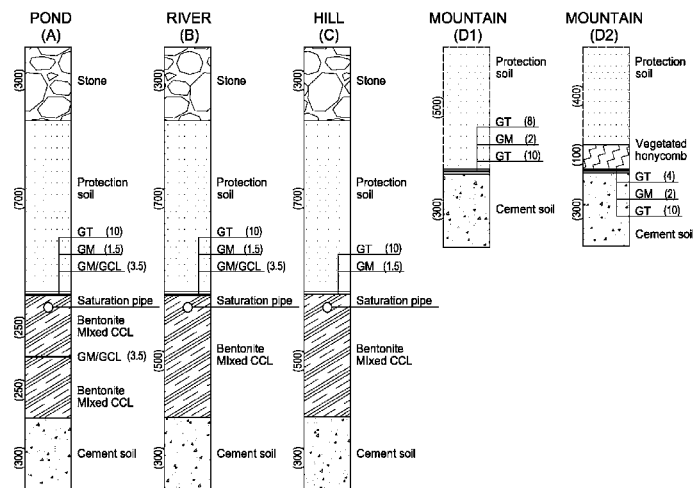


図-1 標準断面図

表-1 火山灰とベントナイト混合土の物性値

項目	火山灰	ベントナイト混合土
液性限界 (%)	NP	117.07
(Cl' 60000mg/L CaCl ₂ 溶液)	-	54.18
塑性限界 (%)	NP	33.10
(Cl' 60000mg/L CaCl ₂ 溶液)	-	27.60
塑性指数	NP	83.96
(Cl' 60000mg/L CaCl ₂ 溶液)	-	26.58
土粒子の密度 g/cm ³	2.383	2.383
最大乾燥密度 g/cm ³	1.235	1.280
最適含水比 (%)	27.8	21.0

に火山灰とベントナイト混合土の物性値をしめす。ベントナイト混合率は、事前におこなった室内透水試験結果から、原料土の乾燥重量に対して 14%以上とした。さらに、BMSLの液性限界を 50% (Cl-60000mg/L CaCl₂ 溶液使用時) 以上とすることで浸出水接触時におけるBMSLの強度と自己修復性を確保した。

3. 管理項目

図 - 3にBMSLの施工フローをしめす。BMSLの管理事項には、ベントナイト混合率や乾燥密度といった難透水性を確保するために必要な品質に関する事項と、層厚や平坦性といった施工後の出来形に関する事項、また、敷設後の強度といった供用開始後におけるBMSLの安定性に関するものがある。これらの項目が満たされることにより、GMなどの他の遮水要素と機能を補完しあいながらBMSLの保持する遮水性を発揮することができる。以下に本処分場における各項目の特徴と要点をのべる。

3. 1 ベントナイト混合率

ベントナイト混合率はメチレンブルー溶液吸着試験（以下MBC試験と記す）による管理が一般的であるが、試験時間が1日から1日半（試料を炉乾燥した場合）と長い。また、試験に供する試料は 5g であり、混合のバラツキを評価するには、より多くの試験をおこなう必要がある。これらの理由によって、ベントナイト混合率の日常管理にはファンネル粘性試験（以下Fv試験と記す）を採用した（図 - 4）。Fv試験は、試験時間が20～30分程度であり、試験に供する試料はMBC試験と比較して多量（400～600g）であるため、混合のバラツキを評価するうえで有効である。

3. 2 乾燥密度（締固め度）

乾燥密度は、試験施工時に砂置換法とRI法とのキャリブレーションを実施し、実施施工時にはRI法によって管理した。管理値は締固め度（Dc 値）90%以上であり、実施頻度は施工日毎または 1 回/500m² とした。

3. 3 層厚

層厚は浸出水のトラベルタイムに影響を与えるためマイナスの基準は設けておらず、管理値は 50cm 以上とした。出来形不足を防止するため、図 - 5 にしめすようなローティングレベルを使用し施工面全体を管理した。

3. 4 BMSLの強度

処分場では供用開始後に廃棄物の搬入車や覆土運搬のためのダンプトラック、さらに重機による廃棄物の締固め作業などによってBMSL上に荷重が生じる。そこで、BMSLの強度をコーン指数で規定し、ダンプトラックが支障なく走行することのできる 1200kN/m² 以上を管理値とした。しかし、BMSL上でポータブルコーン貫入試験（JGS 1431）を実施すると、遮水層としての役割を持つBMSLを破損することになる。そこで、図 - 6 にしめすように、あらかじめ Dc = 90%におけるBMSLのコーン指数が 1200kN/m² 以上確保できる含水比の幅を室内試験から求めておき、含水比に管理値をもたせることでBMSLの強度を担保した。

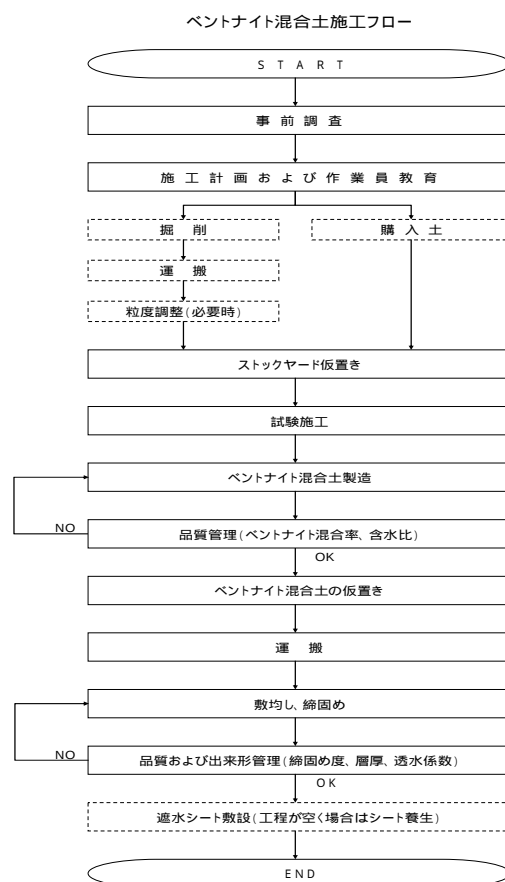


図 - 3 BMSL施工フロー



図 - 4 ファンネル粘性試験



図 - 5 ローティングレベル

4. 施工管理体制

BMSLの施工は一見、通常の盛土工事と類似しており現場で実際に作業する重機オペレータや作業員に『遮水構造物を構築しているのだ』という自負を持たせることが難しい。またその一方で、施工の失敗や手抜きなどが処分場供用開始後の浸出水漏洩につながるおそれを増大させる。そこで、BMSLの遮水層としての役割、禁止事項、品質管理基準などに対する知識向上を目的としてベントナイト混合土講習会を開催し教育した(図-7)。さらに、BMSL製造(混合対象土の品質管理から製造したBMSLの養生まで)とBMSL施工(基盤から締固めたBMSLの養生まで)の二グループに分けてグループディスカッションを実施し、予測される不具合(降雨による泥土化、混合ムラ、原料土の含水比上昇など)とその判定基準と対策、また担当責任者と連絡体制を決めた。受講対象者は、重機オペレータを含むすべての項目に関わる全員を対象とし、講習会受講修了者のみがBMSLの施工に携わることができるとこととした。受講後に組織体制、役割分担範囲と各担当者の生年月日、氏名、顔写真等の全員を記載したポスターを作業所に掲示・周知した。また施工開始後においてもベントナイト混合土講習会を実施し、不具合の判定基準に対する価値観の確認と品質管理に対する意識の統一と全員のモチベーションを高めた。²⁾

5. BMSLの評価

本施工のRI法により得られた含水比と乾燥密度の二変数をプロットした相関図を図-8に示す。含水比は14.1~32.4%と大きく変動しているが、乾燥密度は最大乾燥密度を中心軸としてほぼ均等に分布しているようすがうかがえる。含水比の変動はBMSLの製造と施工が2ケ年の長期にわたっておこなわれたため、その間の降雨などの影響で母材である火山灰の自然含水比が変動したことが原因と考えられる。その一方で、乾燥密度が含水比の影響を受けず、適切な施工ができた要因として、液性限界 w_L を50%(Cl-60000mg/L CaCl₂溶液使用時)以上と規定したことがあげられる。水道水使用時における w_L は117.07%であり、施工含水比の最大値(32.4%)においてもコンシステンシー指数 I_c が $1 < 1.008$ となり、含水比上昇に伴うBMSLの強度低下が抑制され、施工不良を回避できたためと考えられる。

旭川市廃棄物処分場のBMSLの性能と品質は、3シグマを求めることにより最大透水係数 $k = 5.0 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ が得られ、平均値は $k = 4.0 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ である。また、施工完了後、18地点において採取したブロックサンプルの透水係数の最大値は $k = 4.8 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ 、最小値は $k = 1.1 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ であり、図-8に示す3シグマ法より類推した透水係数の範囲と矛盾しない。

6. 供用開始後のBMSL

旭川一般廃棄物処分場は2003年7月1日から供用を開始している。供用開始後にBMSLが気温の変動や、廃棄物の埋め立てなどから受ける影響についてBMSL上に働く土圧、温度の側面から考察する。

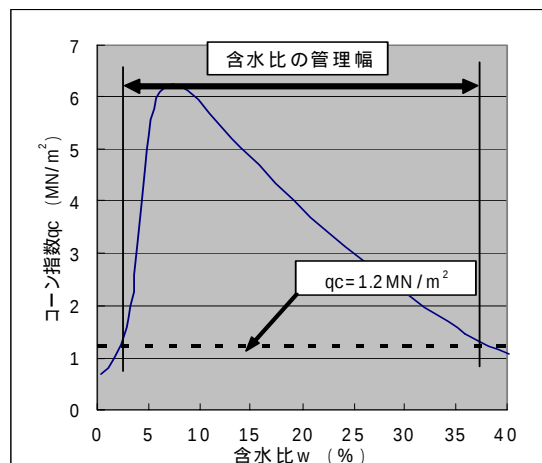


図-6 コーン指数と含水比の関係¹⁾
($D_c=90\%$)



図-7 ベントナイト混合土講習会

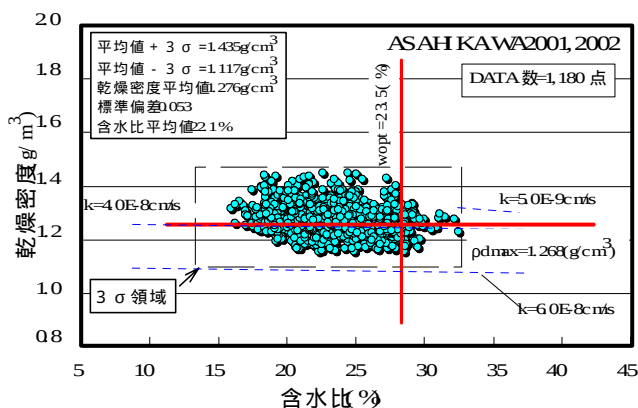


図-8 含水比と乾燥密度の相関図

6.1 BMSLの温度

BMSL内の温度の測定結果を図-9に示す。実線が測定温度であり、波線が月平均の気温を表している。月平均気温の変動に比較して、測定温度が保護土70cmと水平排水層、GM、GCL、ならびに25cmのBMSLを介した温度であるため、その変動が小さく、年間変動約10程度である。これは、月平均気温が10程度まで低下する地域のため、凍上の影響を考慮した保護土の厚さ70cmが有効に働いていると考えられ、BMSLの中心点での温度は最低でも5付近までしか低下していないことがわかる。また、供用が開始されて廃棄物が埋め立てられることにより、供用開始前の温度

に比較して温度の変化が小さくなっていることが読み取れる。これより、BMSLに伝達される熱的ストレスは、供用開始から1年経過した現時点において観測されず、遮水工としては安定した温度状態を保っていることが確認された。

6.2 BMSLに作用する土圧

温度の測点と同じ位置に設置されたプレート式土圧計の観測結果を図-10に示す。土圧計が設置された位置は、廃棄物の埋立高さが10m、最終覆土厚さが1mである。なお、厚さ5mの覆土材料の仮置きと廃棄物層の圧縮を試みた余盛りが11月から11月下旬にかけて一時的に実施された。この影響で、保護土の単位体積重量を 18kN/m^3 、碎石層を 24kN/m^3 とすると底部遮水工が施工された時点で、約 25kN/m^2 程度の荷重がかかっていることになるが、測定値は約 50kN/m^2 と大きめの値が計測されている。

～の期間に約 5kN/m^2 程度の荷重が増加している時期があるが、これは積雪によるものと考えられる。積雪の単位体積重量は 3.5kN/m^3 程度であり、積雪深さに対する荷重増加量にほぼ等しい結果となっている。

次に、廃棄物層の単位体積重量を 12kN/m^3 、覆土層も保護土と同様とすると、廃棄物層10mと最終覆土1mが施工された時点で、約 120kN/m^2 の土圧が測定されるはずであるが、実際は 60kN/m^2 程度しか計測されておらず、廃棄物層の荷重がほとんど計測されていない。余盛りがされたから期間においても計算から求めた荷重は 190kN/m^2 であるが、測定荷重は 70kN/m^2 であり、約1/3の荷重しか測定されていない。

2004年の冬以降、積雪にともなう荷重が増加し、徐々に測定土圧も増加していく傾向が読み取れる。これは、処分場に埋め立てられている廃棄物の形状が、焼却灰等の粒状体埋立てではなく、未破碎一般廃棄物を主要埋立材料としていることも起因していると考えられる。もう一つの要因として推測されることは、形状の大きな未破碎廃棄物の積み重ねにより、荷重が偏心している可能性である。本調査における荷重調査地点は1地点であり、底部遮水工にかかる荷重の平均値ではない。これより、最終処分場内部の荷重分布を把握することは重要であり、山間谷部の最終処分場では特にその必要性が感じられ、今後の課題といえる。³⁾

7. まとめ

廃棄物最終処分場におけるBMSLの施工管理事例から処分場の供用開始1年後におけるBMSLに作用する環境要因について論じた。廃棄物最終処分場の事業期間は、地域住民との合意形成から閉鎖まで少なくとも20年以上と長期にわたるのが特徴である。特に供用開始から閉鎖までの期間が15年以上と長く、耐久性、安全性に優れた遮水構造が望まれている。BMSLはベントナイトの持つ耐候性、安定性が評価され、採用される事例が増加しているが、比較的新しい工法であるため、長期におよぶ検証がなされていない。本稿の最後に述べたようなモニタリングを地道におこない、BMSLの信頼性をより確かなものとするのが今後の課題である。

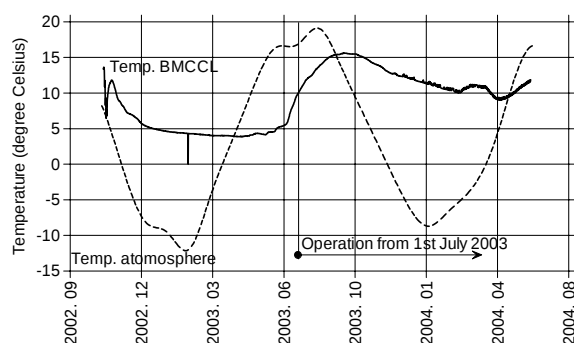


図-9 BMSLの温度変化

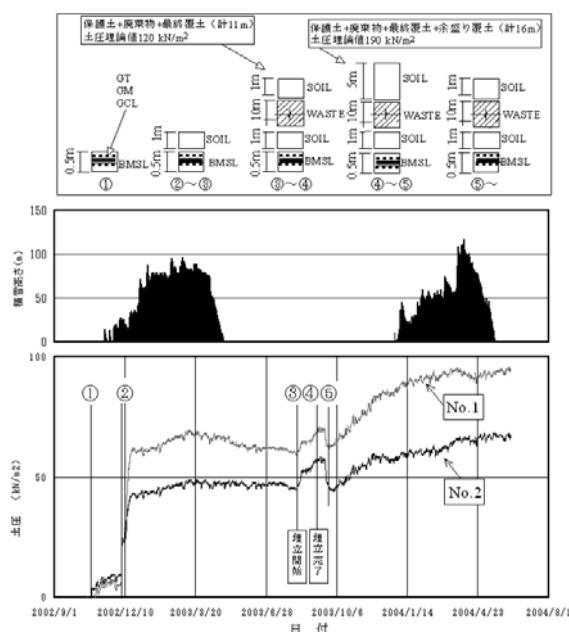


図-10 プレート式土圧計による測定結果

【参考文献】

- 1) 新井靖典, 成島誠一, 三村 卓, 久慈哲男, 高桑史郎: 廃棄物最終処分場におけるベントナイト混合土の施工管理事例, 第29回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, pp.1022-1023, 2002.
- 2) 松崎達也, 新井靖典, 藤原照幸, 水野克己: 芳野廃棄物最終処分場におけるヒューマンエラーを考慮したベントナイト混合土の品質管理事例, 第14回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp.961-963, 2003.
- 3) 遠藤和人, 岡田朋子, 水野克己, 本郷隆夫, 西垣誠, 嘉門雅史: 供用開始後の最終処分場における底部遮水工の環境ストレスの調査, ジオシンセティックス論文集第19巻, pp.127-132, 2004.