

最終処分場における多要素複合ライナーの評価と設計事例

水野克己¹・本郷隆夫²・藤原 照幸³・福田光治⁴・嘉門雅史⁵

¹ 正会員 (株) ホーجون 応用粘土科学研究所 (〒550-0002 大阪府大阪市西区江戸堀 1-9-1)

² 正会員 (財) 地域地盤環境研究所 (〒550-0012 大阪府大阪市西区立売堀 4-3-2)

³ 正会員 (財) 地域地盤環境研究所 (〒660-0822 兵庫県尼崎市杭瀬南新町 1-1-20)

⁴ 正会員 工博 (財) 地域地盤環境研究所 (〒550-0012 大阪府大阪市西区立売堀 4-3-2)

⁵ フェロー会員 工博 京都大学教授 大学院工学研究科 (〒606-8501 京都府京都市吉田本町)

最終処分場の計画や建設を行う上で、遮水材料として用いられる遮水シートの損傷による、地下水汚染に対する不安の払拭が、住民合意を得るために急務でかつ必要である。このため遮水シートとジオシンセティック・クレイライナーとベントナイト混合土並びにスメクタイト系コロイド溶液を組み合わせた多要素複合ライナーの研究を行い、トラベルタイムによる評価法で比較評価した。また、主要構成材料であるベントナイト混合土やジオシンセティック・クレイライナーの遮水性評価を行った。これらの研究から、ファーストシートである遮水シートに依存しない遮水性がある事が判った。本論では、多要素複合ライナーの評価と、その設計理論と思想を取り入れた、H市一般廃棄物管理型最終処分場の設計事例を述べる。

キーワード：最終処分場、遮水構造、ジオシンセティック・クレイライナー、ベントナイト混合土

1. はじめに

近年、最終処分場の遮水構造は、有害物質の漏洩確率がゼロといえる失敗が許されない構造物が求められている。これは遮水シート(GM)などの損傷による地下水汚染の不安から、最終処分場の安全性に対して理解が得にくい事が原因である。住民らが、『絶対破損しない』『絶対漏れない』遮水構造を求める事に対して、100%完全な構造物を作る事は不可能であり、また安全すぎる設計では経済性を考慮すると不合理である。しかし、有害物質が混入する廃棄物を受け入れる施設を作るには、フェイルセーフ(Fail Safe)を考慮した遮水構造を設計に取り入れる事が重要である¹⁾。また、これは住民合意を得た安全と信頼を目指した地域融和型最終処分場を作る上でも必要である²⁾³⁾。

多要素複合ライナーとは、遮水シートと厚さ0.5mm 高密度ポリエチレンシート支持型ジオシンセティック・クレイライナー(以下 GM/GCL と呼ぶ)とベントナイト混合土などの粘土ライナー(CCL)並びにスメクタイト系コロイド溶液を組み合わせた複合ライナーである⁴⁾⁵⁾。これは図-1に示

す様に、GM/GCL の重ね合わせ部とベントナイト混合土などの組み合わせで冗長性を確保している⁶⁾。しかし、GM/GCL やベントナイト混合土は、浸出水に含まれるカルシウムイオンなどで透水係数に影響を及ぼす事が指摘されている⁷⁾。このため、第一暴露効果(First Exposure Effect)を得るためスメクタイト系コロイド溶液を GM/GCL やベントナイト混合土に事前に浸透湿潤させる事で、透水係数の維持(自己修復機能)を期待している⁵⁾⁸⁾。本論では、多要素複合ライナーの評価と設計事例を述べる。

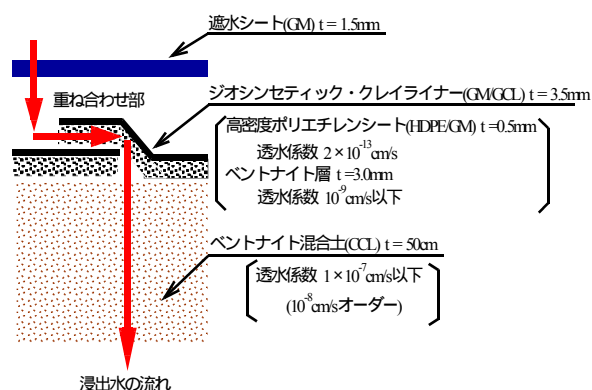


図-1 多要素複合ライナー断面詳細図

2. 遮水構造の評価

遮水構造の評価法には、R.K.Rowe(1998)ら⁶⁾が提案する、総合的な浸出水による影響評価法や嘉門・勝見(1999)ら¹⁰⁾示す、各種遮水構造モデルを想定した無機・有機系化学物質漏水量による評価法などがある。漏水量による評価法では、計算により求められた結果が工学的に安全な値が得られても、『漏水量』と言う単語から『漏れ出す』と言う誤解や不安を生じやすい。このため、住民らに不安を生じせずに、簡単に遮水構造の理解が得られる住民側の視点に立った評価法の採用が望まれている。嘉門・勝見(1999)ら⁶⁾は、ファーストシートである遮水シートに欠陥の発生が不可避であることから、遮水シートが無いと仮定して粘土ライナーを浸透するトラベルタイムで評価している。このトラベルタイムによる評価法は、嘉門(1999)¹⁾が提唱するフェイルセーフの設計規範からの十分な安全性を確保する考えと一致する。また、本研究目的である遮水シートに依存しない遮水構造を評価の行う上でも適用が出来る。

トラベルタイムは、ある厚さの粘土ライナーを浸出水が通過する時間であり、動水勾配と透水係数からダルシー則より求めた透水速度で算出する事が出来る¹¹⁾。アメリカでは1985年代にトラベルタイムが用いられ、現在は漏水量による評価に変わりつつあるがオーソドックスな評価方法である。

(1)多要素複合ライナーの構成材料と遮水性評価

トラベルタイムの評価を行うためには、多要素複合ライナーの構成材料である、ジオシンセティック・クレイライナー(以下 GCLs と呼ぶ)やベントナイト混合土の遮水性並びにスメクタイト系コロイド溶液による遮水効果を把握する事が必要となる。

a)ジオシンセティック・クレイライナー(GCLs)の重ね合わせ部の透水係数

GCLs の重ね合わせ継ぎ目部の透水係数を透水試験にて求めた。図-2に示す様に、非熱溶着工法である GCLs は、遮水性に関わるベントナイトの量と質はほぼ同一であるが、構成される基盤材の材質と構造が異なる。このため、GM/GCL の他に候補として不織布包接型ジオシンセティック・クレイライナー(以下 GT/GCL と呼ぶ)を選定し透水試験を行った。直径 30cm、重ね合わせ継ぎ目部幅 10cm の供試体を作成し ASTM D 5084 に準じ透水試験を行った。試験水には水道水を用いて、両者の載荷圧力と経過時間に応じる透水係数の変化を測定して遮水性を比較した。図-3の透水試験装置から排水量と

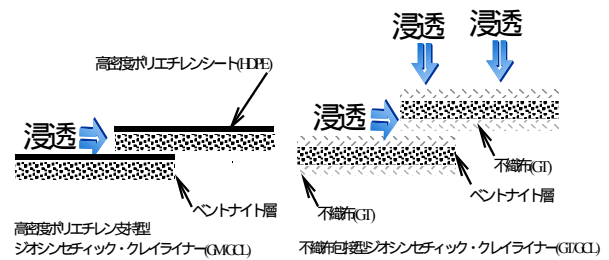


図-2 GCLs(GM/GCL と GT/GCL)の重ね合わせ継ぎ目部断面詳細図

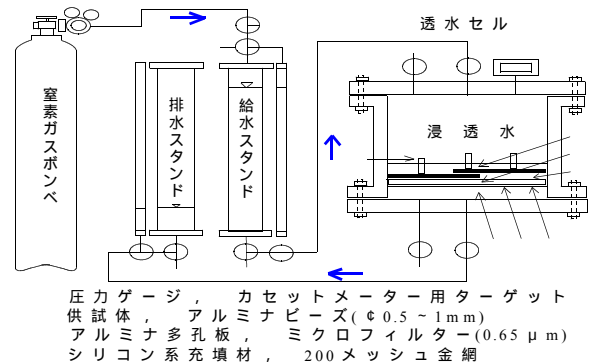


図-3 透水試験装置

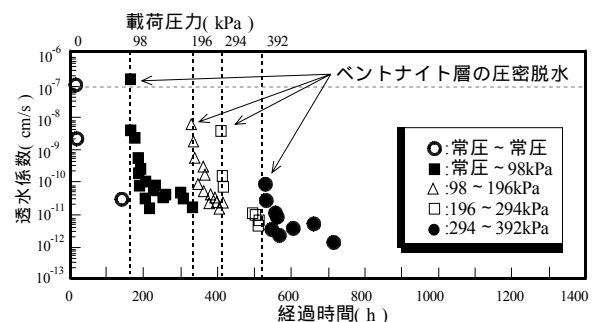


図-4 GM/GCL 重ね合わせ部(水道水)透水試験結果

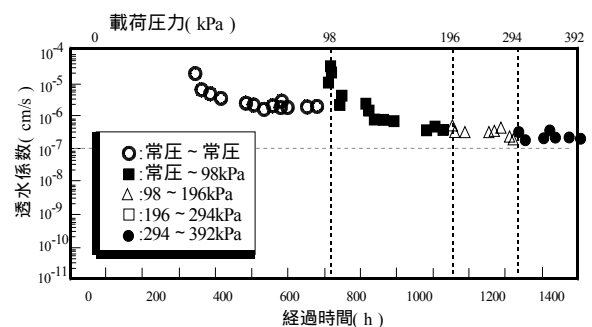


図-5 GT/GCL 重ね合わせ部(水道水)透水試験結果

載荷圧力と重ね合わせ継ぎ目部の長さを考慮して透水係数を算出した。GM/GCL の重ね合わせ継ぎ目部(10cm)の結果を図-4に示す。膨潤したベントナイト層が載荷圧力変化時に圧密脱水し透水係数が変化することが図-4より判る。GT/GCL の重ね合わせ継ぎ目部(10cm)の結果を図-5に示す。両者とも各載荷圧力の条件下で経過時間と共に透水係数は速や

かに低下して行きほぼ平衡値に達する．しかし，GM/GCLの方が，GT/GCLよりも速やかに平衡値に達し，その透水係数はGT/GCLより $10^{-2} \sim 10^{-4}$ 程度小さい事が判る．また，水野・嘉門(2001)ら⁵⁾は，同様な試験方法で浸出水を想定した4倍希釈人工海水を用いた透水試験を行いGM/GCLが， $10^{-7}\text{cm/s} \sim 10^{-8}\text{cm/s}$ で，GT/GCLは透水性である $10^{-2}\text{cm/s} \sim 10^{-3}\text{cm/s}$ であると報告している．

以上からGT/GCLと比べGM/GCLは，重ね合わせる事で厚さ0.5mm高密度ポリエチレンシートの存在で，冗長性(Redundancy)によるトラベルタイムが確保できる事が判る．

b) 高密度ポリエチレンシートの耐用年数

近年住民らから，定性的な表現でなく定量的な耐用年数が求められている．R.M.Koerner(1998)ら¹²⁾は，予測年数をもって耐用年数を定量化する事が重要と述べている．このため，GM/GCLの重ね合わせ部から得られるトラベルタイムの限度を数値で示す必要がある．

トラベルタイムは，GM/GCLの構成要素である高密度ポリエチレンシートの物理・化学的耐用年数に依存する．R.K.Rowe(1998)⁹⁾やR.M.Koerner(1998)ら¹²⁾は，高密度ポリエチレンシートの化学的耐用年数は，酸化防止剤の消耗時間と誘導時間とポリマーの劣化に要する時間の合計で，酸化防止剤の消耗時間は温度に大きく依存し，温度の違いによる高密度ポリエチレンシートの耐用年数を試験から導き出している．これによると予想化学的耐用年数は，10で400年超，15で300年超，25で150年，60で10～20年と述べている⁹⁾．保護土が施工されゴミ埋立て開始以降のGM/GCLは，物理的耐久性(外部からの要因による損傷)は無視できる．このためトラベルタイムの上限値は，高密度ポリエチレンシートの温度に依存する．

北海道A市の山間部に多要素複合ライナーを想定した試験施設を構築した．遮水構造断面は，砕石層($t=30\text{cm}$)，保護土($t=70\text{cm}$)，長繊維不織布(目付 $1,200\text{g/m}^2$)，遮水シート($t=1.5\text{mm}$)，GM/GCL($t=3.5\text{mm}$)，ベントナイト混合土($t=50\text{cm}$)で，砕石の大きさは10～15cm内外を用いた．平坦部は屋根のある屋内に構築され，縦横およそ4m四方である．法面部は屋外に構築され，幅3mで高さ5m(勾配1:3)である．

屋外と各遮水構造の天端から深度方向に対して熱電対線を埋設し外気温度と地中温度を計測した．地中温度の測定深さは，50cm(砕石 $t=30\text{cm}$ +保護土 $t=20\text{cm}$)と100cm(砕石 $t=30\text{cm}$ +保護土 $t=70\text{cm}$)である．図-6は，2000年11月5日～2001年12月25日の外

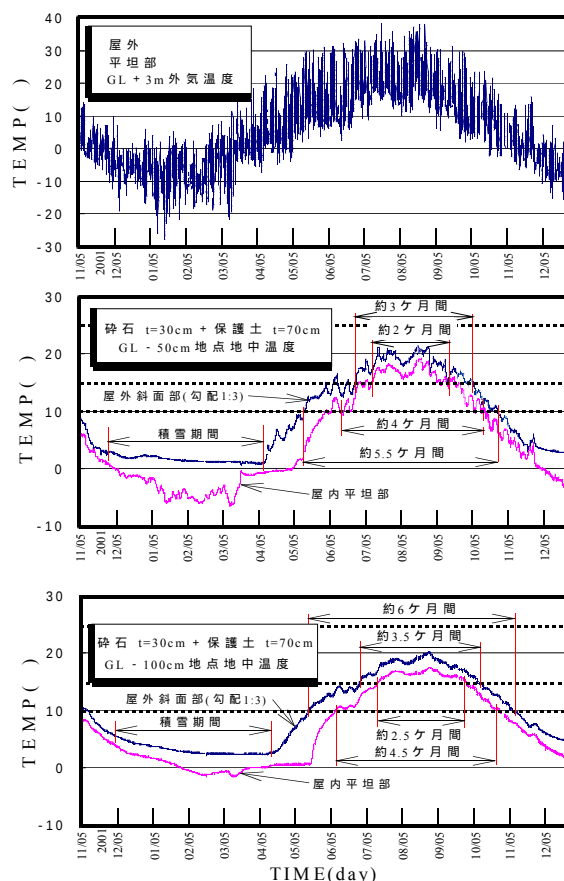


図-6 外気温度と地中温度の変化

表-1 地中温度 10 および 15 以上の期間

条 件	項 目	砕石 $t=30\text{cm}$ + 保護土 $t=20\text{cm}$	砕石 $t=30\text{cm}$ + 保護土 $t=70\text{cm}$
屋 外	10 以上	約 5.5 ケ月/年	約 6.0 ケ月/年
	15 以上	約 3.0 ケ月/年	約 3.5 ケ月/年
屋 内	10 以上	約 4.0 ケ月/年	約 5.5 ケ月/年
	15 以上	約 2.0 ケ月/年	約 2.5 ケ月/年

気温度と地中温度計測結果である．図-6から外気最低温度は -27.7 ，最高温度は 38.4 であり，地中温度は約 $-5 \sim 20$ で変化している事が判る．地中温度10 および15 以上の期間を表-1に示す．

高密度ポリエチレンシートの酸化防止剤の消耗時の温度に影響する10 以上の期間は，約6ケ月/年である事が表-1より判る．

c) ベントナイト混合土の透水係数

近年，最終処分場において，最適含水比以下による施工時の転圧や，蒸発による乾燥，また初期盛土の有効応力不足や人為的ミスなどが原因で，粘土ライナーの透水係数が得られない事が報告されている¹³⁾．R.K.Rowe(1998)ら⁹⁾は粘土ライナーの耐用年数(透水係数 $k = 1 \times 10^{-7}\text{cm/s}$ の維持)は，施工中(短期)と埋立て開始後(長期)に適切な乾燥防止対策を

行う事で、数千年期待されると報告されている。

粘土ライナーの製造と施工は重機等を用いた集団作業である。このためヒューマンファクターを考慮した、エラーレジスタントとエラートレナントのアプローチが設計と施工を行う上で重要である。

締固め度と初期含水比を変えた透水試験結果（浸透液：水道水）を示す。また、透水試験を終えた締固め度 80%の供試体は、新たに浸透液にスメクタイト系コロイド溶液を用いて透水試験を行った。これらの結果を合わせて図-7に示す。透水試験では、設計上の安全を考慮し保護土を行う前の状態を想定し、極めて小さな上載荷重 1kN/m^2 （保護土厚さ約 5cm に相当）の条件下で得られる透水係数を求めた。JIS A 1218 に準拠し透水試験を行った。ベントナイト配合量は、乾燥質量比で碎石（粒径 0 ～ 5mm）100 に対しベントナイト（スーパークレイ）を 13 の割合とした。ベントナイト混合土の締固め条件は、締固め試験（JIS A 1210：A-c 法）から求まる最大乾燥密度に対する乾燥密度の比が、80%，90%，95%とした。なお、供試体の作成は設定含水比に含水調整された試料から、予め求めておいた供試体作成に必要な質量を分取し、締固め度 80%，90%，95%となるよう静的締固め法により行った。

図-7より最大乾燥密度 $\rho_{d\max} \times 90\%$ 以上であればベントナイト混合土は、最適含水比以下でも難透水性($k = 1 \times 10^{-7}\text{cm/s}$)を示す事が判る。なお、最適含水比以下の低含水比域では、密度が小さく間隙比が大きいため透水係数は大きくなるが、最適含水比付近では、密度が増加し間隙比が小さくなるため透水係数は最小となる。また、この点を越えて高含水比域になると土粒子間隙内に含まれる拘束されない自由水が多くなり透水係数は大きくなる。そして、この土粒子間隙内に存在している自由水をスメクタイト系コロイド溶液で置き換える事で、土粒子間隙内に連続したマッドケーキ層が形成されて透水係数が低下する。図-6の矢印から判る様に、締固め度不足や含水比低下が原因で難透水性が得られない場合や、第一暴露効果の溶液として、締固めたベントナイト混合土にスメクタイト系コロイド溶液を浸透湿润させる事は自己修復機能として効果がある⁵⁾⁶⁾。

d)ベントナイト混合土の間隙比

ベントナイト混合土のトラベルタイムの算出には、間隙比のパラメーターが必要とされている¹⁴⁾。ベントナイト混合土は、土粒子が集まった固相部分とそれ以外の間隙で構成され、水との相互作用によりベントナイトが膨潤し間隙を埋め透水係数が変化する。このため浸透液に非極性流体であるベンゼンを用い、透水試験にてベントナイト混合土の透水係

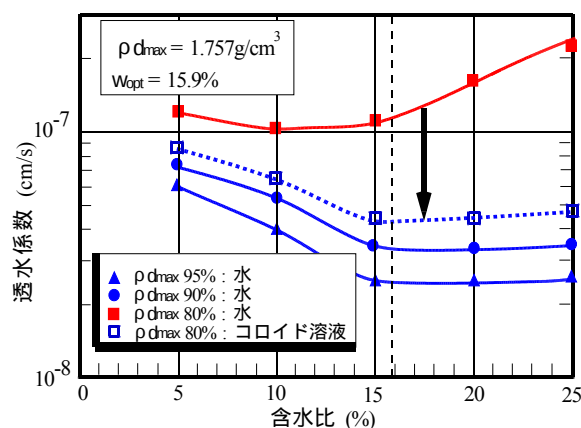


図-7 ベントナイト混合土の締固め度と含水比と透水係数の関係

表-2 ベントナイト混合土(13%)のベンゼンによる透水試験結果

条 件	試 験 前			試 験 後	
	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm^3)	間隙比	間隙比	透水係数 (cm/s)
非ブレ膨潤	20.8	1.458	0.819	0.776	2.0×10^{-4}
ブレ膨潤	20.8	1.458	0.819	0.881	2.0×10^{-7}
非ブレ膨潤	31.0	1.454	0.824	0.823	1.0×10^{-7}
ブレ膨潤	31.0	1.454	0.824	0.989	2.2×10^{-7}

数とおおまかな間隙比を求めた。透水試験は、上載荷重 1kN/m^2 の条件下で得られる透水係数を求めた。初期含水比を変え、事前に水道水を浸透させたブレ膨潤(Post hide ration)と非ブレ膨潤の条件で JIS A 1218 に準拠し透水試験を行った。ベントナイト配合量は、乾燥質量比で静岡産まき土 100 に対しベントナイトを 13 の割合とした。ベントナイト混合土の締固め条件は、締固め試験（JIS A 1210：A-c 法）から求まる最大乾燥密度に対する乾燥密度の比が 90%とした。なお、供試体の作成は設定含水比に含水調整された試料から、予め求めておいた供試体作成に必要な質量を採取し、締固め度 90%となるよう静的締固め法により行った。表-2より非ブレ膨潤で初期含水比が 20.8%の最適含水比では、高い透水性を示すが、水道水でブレ膨潤後または初期含水比が 31%の飽和状態に近い場合では難透水性を示す事が判る。この理由は、浸透液がベンゼンなど非極性流体の場合、分子が土表面に引き寄せられずに拡散電気二重層が発達しないため、粘土の種類に関わりなく透水係数は間隙比のみで決まると考えられる⁸⁾。ただし、これは非極性流体が 50%以上含む浸出水を貯留する廃棄物最終処分場でないとは当たらない。このためトラベルタイムによる評価では、間隙比は無視した⁸⁾。

表 - 3 トラベルタイムの算出に用いた各遮水構造

No	遮水構造詳細
	遮水シート + 粘性土(t=500mm , k 1×10 ⁻⁶ cm/s) 【 日本遮水構造基準 1998.6.16 技術上基準命令 】
	遮水シート + 粘土ライナー(t=600mm , k 1×10 ⁻⁷ cm/s) 【 アメリカ合衆国 EPA 遮水構造基準 】
	遮水シート + 粘土ライナー(t=750mm , k 5×10 ⁻⁸ cm/s) 【 ドイツ連邦共和国 遮水構造基準 】
	遮水シート + GT/GCL(t=4.5mm , k 1×10 ⁻⁹ cm/s) + 粘土ライナー(t=500mm , k 1×10 ⁻⁷ cm/s)
	遮水シート + GM/GCL(t=3.5mm , k 1×10 ⁻⁹ cm/s) + 粘土ライナー(t=500mm , k 1×10 ⁻⁷ cm/s)
	遮水シート + [GM/GCL(t=3.5mm , k 1×10 ⁻⁹ cm/s) + 粘土ライナー(t=250mm , k 1×10 ⁻⁷ cm/s)] × 2 層

(2) トラベルタイムによる評価

本論では表 - 3 図 - 8 示す ~ の遮水構造で、ファーストシートである遮水シートが無いと仮定し、浸出水全水頭 (H)、保護土厚さ (H1) を変数とし H1 ~ Hn の間を流れるトラベルタイム(TT)を求めた。

a) 評価条件

保護層上面を浸出水水位に設定し、飽和状態と仮定した。GCL の重ね合わせ部の幅(B)は 5cm, GCLs (GM/GCL, GT/GCL) の膨潤ベントナイト層厚は H2=0.5cm(膨潤後の厚さ)とした。なお、では H2=0cm, B=5cm, では H2=H4=0cm, B=5cm とした。トラベルタイムの計算は、図 - 8 示す矢印の流れにそって考え、保護土の透水係数は大きく、保護土層の経過時間は無視した。

b) 算出結果

トラベルタイム(TT)の算出結果を表 - 4 示す。

では、保護土厚さ(H1)50cm で総厚(H)は 100cm, L(H+B)は 5 + 25 + 5 + 25 = 60cm, トラベルタイム(TT)は、(60/100 × 10,500,000,000) / (31,536,000) = 199.8(yer)となる。浸出水水位(H1) が同一の場合、の GT/GCL と CCL の組み合わせに比べ、との GM/GCL と CCL の組み合わせの方が、トラベルタイムが著しく長くなる事が判る。GT/GCL の基盤材は、透水係数 k = 10⁻³cm/s の透水性不織布で、GM/GCL は透水係数 k = 2 × 10⁻¹³cm/s の高密度ポリエチレンシートである。これら GCLs(GM/GCL, GT/GCL)を構成する基盤材の相異によりトラベルタイムが著しく長くなる事が理由である。

c) 算出結果の検証

GCLs(GM/GCL, GT/GCL)に用いられているベントナイト層の不飽和透水係数は、飽和透水係数に比べて小さいので、この表-4の数値は安全側である。また表-4から、のトラベルタイムが約 1 年に比べ、は約 105 年、は約 199 年と多要素複合ライナーは優れた遮水性を有する。このため、とと同じトラベルタイムを得るためには、約 30 ~ 60m の粘性土(CS)を必要とする。(何れも保護土厚さが 50cm と仮定)なお、GM/GCL の重ね合わせ部の幅(B)

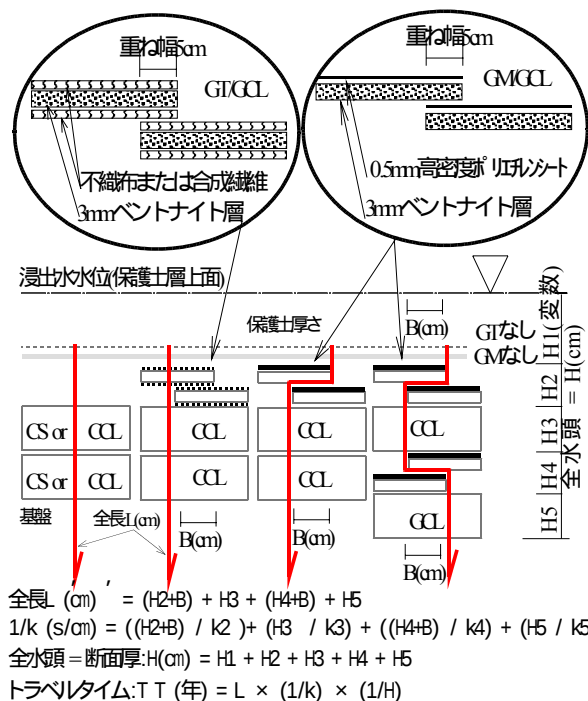


図 - 8 遮水構造別の浸出水の流れ

表 - 4 各遮水構造におけるトラベルタイムの算出結果(単位:年)

No. 項目	保護土厚さ(H1) = 浸出水水位				
	50cm	100cm	200cm	300cm	500cm
Japan	0.8	0.5	0.3	0.2	0.1
USA_EPA	10.4	7.1	4.4	3.2	2.0
Germany	28.5	20.4	13.0	9.5	6.2
GT/GCL+CCL	15.9	10.6	6.4	4.6	2.9
GM/GCL+CCL	105.1	70.2	42.2	30.1	19.2
GM/GCL*2+CCL	199.8	133.2	79.9	57.1	36.3

GCLs の重ね合わせ部の幅5cm

表 - 5 GM/GCL の重ね合わせ部の幅20cm時のトラベルタイムの算出結果(単位:年)

No. 項目	保護土厚さ(H1) = 浸出水水位				
	50cm	100cm	200cm	300cm	500cm
'GM/GCL+CCL	467.1	311.9	187.4	133.9	85.3
'GM/GCL*2+CCL	1155.8	770.5	462.3	330.2	210.1

を実際に施工される 20cm で、上述した同様な方法でトラベルタイムを算出し、結果を表-5に示す。保護土厚さ (H1)50cm の条件では 'は 467.1 年、'は 1155.8 年となる。このため、GM/GCL の構成材料である高密度ポリエチレンシートの耐用年数に依存すると仮定して、トラベルタイムは、300 ～ 400 年前後と考えられる。

以上から、多要素複合ライナーは遮水性のみならず施工・経済性においても著しく優れている事が容易に推察できる。

3．最終処分場の設計事例

最終処分場の設計・計画時に検討される内容は、化学・地盤・土木工学等の幅広い分野を包括している。しかし、自治体などが最終処分場を建設する頻度は、おおそ十数年に一度と稀少である。また、恒久的に環境汚染と言うリスクを伴う施設である。このためこれら設計時の条件や内容を情報公開し、また文書で後世へ伝え残す事が重要である。

ここに多要素複合ライナーの設計理論と思想を具体化した、H 市一般廃棄物管理型最終処分場の概要と遮水施設の詳細を述べる。

H 市は、26,672 世帯、人口 86,750 人(平成 14 年 3 月現在)で、「ゆとりと効率が調和する、みどり豊かな快適環境都市」を目指している。本件最終処分場の埋立廃棄物は、可燃ゴミを清掃センターの焼却炉にて全量焼却した焼却残さと、清掃センターで粉碎機により破碎処理した不燃物からなる。それらを建設地へ運搬、埋立処理する計画である。H 市一般廃棄物最終処分場の概要を表-6に示す。

最終処分場の遮水施設は、地下水集排水工、基盤工、遮水構造、保護層(不織布並びに保護土)、雨水浸透防止工、浸出水集排水工、モニタリング施設等に分類される。以下これらの詳細を述べる。図-9に最終処分場の基盤横断面図、図-10に詳細断面図を示す。

表 - 6 H 市一般廃棄物管理型最終処分場の概要

項 目	内 容
埋立対象物	焼却灰、不燃破碎物(ガラス、陶磁器、電球)、道路側溝汚泥
施設規模	敷地面積 : 52,872m ²
	埋立面積 : 12,315m ²
	埋立容量 : 60,273m ³
	雨水調整池 : 約 5,000m ³
浸出水 処理設備	処理水量 : 50m ³ /日
	浸出水調整容量 : 1,900m ²
	延床面積 : 1,068m ²
	建築構造 : 鉄骨構造 2 階建
埋立期間	平成 14 年 4 月から 15 年間
埋立の構造	準好気性
総事業費	2,507,939 千円

(1)地下水集排水

基盤の地下水位は、地質調査結果から GL-1.0m 前後と高く、また透水性は現場透水試験から透水係数 $k = 4.2 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ で、やや水の通りにくい層である。このため地下水集排水管は、高密度ポリエチレン有孔管とし、幹線は管径 300mm、枝線は管径 300mm と 150mm とした。

設置箇所は、幹線を埋立地下流側の貯留構造物に平行し配置し、また地下水上下流方面に 2 列平行に配置した。横断方面には枝線を 20m 間隔で配置した。地下水集排水管の設置深さは、『設計要領第一集(日本道路公団)』より算出し、最深となる 2.0m を採用した。また、法面からの地下水揚圧対策として、小段と法尻部にも地下水集排水管を配置した。

遮水構造は、客観的評価だけでなく、実際に多くの幅広い年齢層の住民が確認し、安心を得る事が重要である。平坦部や法面部の遮水構造直下を流れる地下水は、管径 1,000mm の放流管と合流し、下流側の雨水調整池に一時貯留される。全ての地下水は、ポンプで汲み上げられ隣接する公園内(緑地広場)の池と小川を経て二級河川の支川に放流される。

遮水構造直下を流れる地下水で、魚などの生態系が池や小川で生息する様子から、遮水構造の安全性を視覚で観察できる。

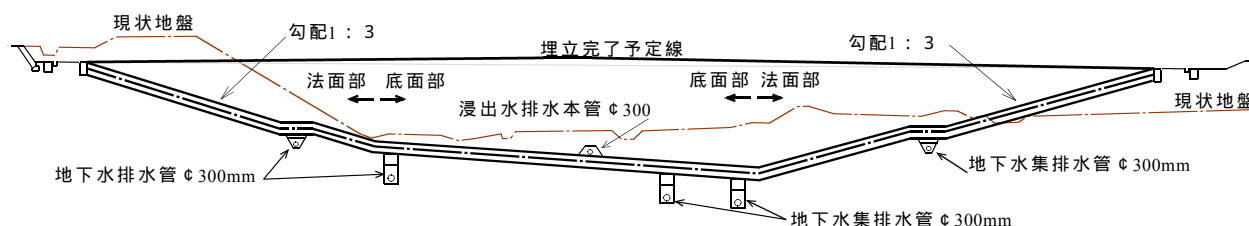


図 - 9 基盤横断面図

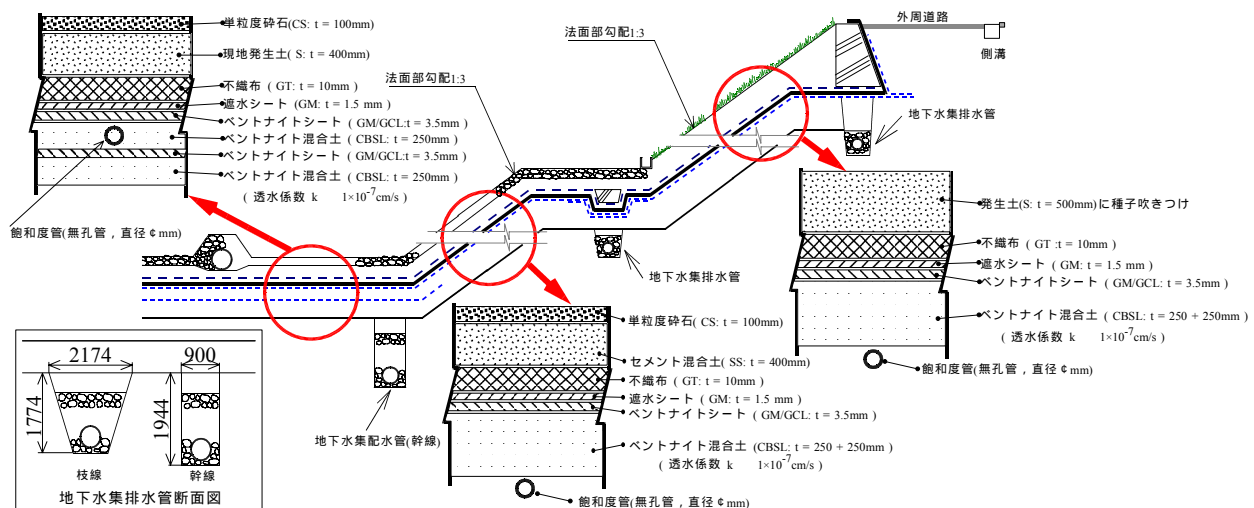


図 - 10 基盤横断詳細断面図並びに遮水構造，地下水集配水管詳細図

(2)基盤(切り・盛土計画と法面部勾配)

基盤の設計は最も重要な位置を占める．特に，切り・盛土量のバランスを保つ事は，残土処分費などコストに反映する．しかし，盛土を行う事は，長期的に基盤の不同沈下が予測される．本件では，図-9と図-10に示す様に出来るだけ盛土を少なくし，基盤の凹凸部を排除した設計を行い，遮水シートとベントナイト混合土の施工精度を高めた．水野・今泉(2001)ら¹⁵⁾は，勾配 1:2 と 1:3 で遮水シートの表面温度および変位量に与える影響の実証試験を行い，法面勾配を安定勾配(1:3)にする事で，積雪量荷重の増加による影響が無い事を報告している．

このため，複合ライナーと保護土の斜面安定性確保から，法面部勾配は全て 1:3 とした．

(3)雨水浸透防止と浸出水水位低減対策

最終処分場に降った雨水は，廃棄物に接触する事で浸出水となる．このため，図-10に示す様に埋立処分場の外周道路に側溝を設置し廃棄物層への雨水浸透防止対策とした．次に，遮水構造に水頭負荷を与えないためには，埋立処分場内部の浸出水を早期に排出させる事が重要である．図-11に示す様に，一時的に内部貯留した浸出水は，お風呂の栓のごとく，平坦底面部から排出するサブピットを採用した．水処理施設へ浸出水を排出するサブピットは，埋立処分場の最低部に位置する，このためサブピット周辺部は，不同沈下や漏水の発生など最もリスクが伴う場所である．この対策として，基礎を含めて全てコンクリート構造物とした．また，コンクリート構

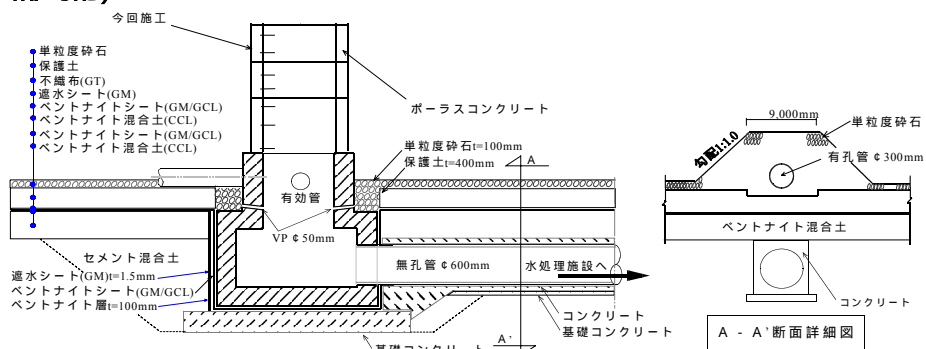


図 - 11 サブピット，浸出水集配水管部詳細断面図

造物周辺部の水ミチ発生防止，並びにコンクリート構造物と基盤の密着性を得るために，ベントナイト単独層(t=100mm)にて補強し，サブピット周辺部の埋立てはセメント混合土を用いた．

(4)保護層

多要素複合ライナーの冗長性による 300 ~ 400 年を超すトラベルタイムの確保と，埋立期間中の重機走行等による遮水シート損傷防止を目的として，現地発生土などを用いた保護層(t=500mm)を，全面に採用した．底面部と小段一段までの法面部の保護土は，斜面安定性確保からセメント混合土(t=400mm)とした．なお，セメント添加量は塑性指数の改良として考え，配合量は 50kg/m³ とした．

なお，浸出水の早期排水とカルシウムスケール形成による浸出水集排水管の目詰まりに対するバックアップ層として，セメント混合土(t=400mm)の上に，単粒度碎石層(t=100mm)とした．埋立て時の重機走行による単粒度碎石の層厚変動は，焼却残渣の搬入量が約 15t/日と少量のため，影響が無いと判断した．小段一段以上の法面部は，景観対策から現地発生土(t=500mm)に種子吹き付けによる植生とした．

(5) 遮水構造

平坦底面部は、直下に地下水集排水管が位置し、埋立期間中に常時浸出水圧を負担する重要な場所である。このため、ベントナイト混合土と2層のGM/GCLを組み合わせ、さらに遮水シート($t=1.5\text{mm}$)とスメクタイト系コロイド溶液を用いた多要素複合ライナーを採用した。法面部は、ベントナイト混合土と1層のGM/GCLを組み合わせ、さらに遮水シートを用いた三要素複合ライナーを採用した。

(6) モニタリング施設

生態系などの周辺環境に対して、恒久的な影響防止の観点から、環境センシング技術の導入が重要である¹⁶⁾。このため遮水構造の健全性確認を目的として最終処分場周辺に観測井戸を設置し、埋立開始前から定期的に水質(pH、水温、電気伝導度など)のモニタリングが行われ、これは常時掲示される予定である。また、建設開始からゴミ埋立期間中までの、仮設的な遮水シート損傷監視を目的として、電氣的遮水シート損傷検知システムが計画された。

4. まとめ

多要素複合ライナーの構成要素である高密度ポリエチレン支持型ジオシンセティック・クレイライナーとベントナイト混合土の組み合わせは、極めて長いトラベルタイムが得られる。このためファーストシートである遮水シートに依存しない遮水性が得られる。これに加えてスメクタイト系コロイド水溶液を用いて、より確実に難透水性を確保しうる構造である。ジオシンセティック・クレイライナーとベントナイト混合土とスメクタイト系コロイド溶液から得られるスメクタイトマッドは、何れも天然素材であり恒久的な難透水性の維持が期待される。またこれらは、単独で且つ相互補完した自己修復機能を持つ。

このため、多要素複合ライナーは、フェイルセーフ機能を持つ完結した遮水工構造であると確信しうるものである。なお、本論と同じ設計理論と思想でゴミ埋立容量約184万 m^3 規模で北海道A市一般管理型最終処分場においても現在施工中である。

参考文献

- 1) 嘉門雅史：廃棄物埋立処分場の遮水構造基準について、廃棄物学会誌, Vol.10, No.2, pp.147-155, 1999.
- 2) 公害等調整委員会：平成11年～平成12年度に

公害等調整委員会に係属した公害紛争事件一覧、公害紛争処理白書。

- 3) 古市徹：廃棄物計画 - 計画策定と住民合意, 共立出版, 1999.
- 4) 水野克己, 皆瀬 慎, 本郷隆夫, 福田光治, 藤原照幸, 嘉門雅史：最終処分場における三要素複合ライナーの遮水性評価, ジオシンセティック論文集, Vol.16, pp.213-220, 2001.
- 5) 水野克己, 近藤三二：ベントナイトの特性と環境汚染分野への応用, 土と基礎, Vol.49, No.2, pp.29-32, 2001.
- 6) 嘉門雅史, 勝見 武：廃棄物処分における地盤工学的諸問題, 第44回地盤工学シンポジウム論文集, 地盤工学会, pp.35-40, 1999.
- 7) 勝見 武・H.Y. Jo・C.H. Benson・T.B. Edil：ジオシンセティッククレイライナーの無機化学物質溶液に対する遮水性能, ジオシンセティック論文集, Vol.14, pp.360-369, 1999.
- 8) 勝見 武, C.H. Benson, 嘉門雅史：ベントナイトライナーの耐化学性について, 土と基礎, Vol.49, No.2, pp.21-24, 2001.
- 9) R, K. Rowe：Geosynthetics and the minimization of contaminant migration through barrier systems beneath solid waste, Sixth International Conference on Geosynthetics conference proceedings, Atlanta, Vol.1, pp.27-53, 1998.
- 10) 勝見 武, C.H. Benson, G.J. Foote, 嘉門雅史：廃棄物処分場遮水ライナーの性能評価について, 廃棄物学会誌, Vol.10, No.1, pp.75-85, 1999.
- 11) 嘉門雅史, 乾 徹：管理型廃棄物処分場の地盤工学的問題と対策, 土木学会論文集, Vol.701/-58, pp.1-15, 2002.
- 12) Y.G. Hsuan and R.M. Koerner：Antioxidant depletion lifetime in high density polyethylene geomembranes, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental engineering, pp.532-541, 1998.
- 13) C.H. Benson, D.E. Daniel, and G.B. Boutwell：Field performance of compacted clay liners, Journal of geotechnical and Geoenvironmental engineering, pp.390-403, 1999.
- 14) Freeze, R. A. and Cherry, J.A.：Groundwater, Prentice-Hall, Inc. 1979.
- 15) 水野克己, 皆瀬 慎, 本郷隆夫, 福田光治, 坪井正行, 今泉繁良：積雪に対する遮水シートの評価, ジオシンセティック論文集, Vol.16, pp.203-208, 2001.
- 16) 西垣 誠：土壌・地下水汚染と対策, 土と基礎, 地盤工学会, Vol.47, No.10, pp.1-3, 2001.