

廃棄物処理等科学研究費補助金 総合研究報告書概要版

研究課題名・研究番号=最終処分場の早期跡地利用を考慮した多機能型覆土の検討・K1728

国庫補助金精算所要額(円) = 18,220,000

研究期間(西暦) = 2004-2005

研究年度(西暦) = 2004-2005

研究代表者名 = 遠藤和人(独立行政法人 国立環境研究所)

共同研究者名 = 石垣智基(龍谷大学、平成 16 年度;独立行政法人国立環境研究所)、小峯秀雄(茨城大学)、呉 佳暉(株式会社セントラル技研)

研究目的=最終処分場の早期跡地利用のための安全性確保や不適正処分場の臭気対策を受動的に可能にし、早期にリスクを削減する最終覆土構造を提案することが目的である。提案する最終覆土は、覆土を通過する水分フラックスの収支、ガスフラックスの収支、下部廃棄物層からの塩類上昇防止、処分場ガスのメタン酸化による温暖化防止、硫化水素ガス捕捉による臭気対策、過度の上昇熱拡散防止、耐浸食性、降雨浸透に対する構造安定性に着目し、鉛直方向の多様性(積層)のみならず、平面的な多様性(不均一性)も有する、多機能な性能要求に応えることのできる覆土システムである。多数の薄層から構成される多層覆土構造の施工を可能とする締固め管理手法も検討し、斜面安定性を確保しながら耐浸食性を考慮することで維持管理コストの削減についても検討する。この多機能型覆土は、施工するだけで受動的に硫化水素ガスやメタンガスを捕捉し、処分場の安定化に必要な降雨浸透を許す構造となっており、不適正処分場への適用時には、最終処分場の水収支を変えことなく対策を講じることが可能となる。

研究方法=多機能型覆土構造に求められる材料パラメーターの同定を行うため、シミュレーションコード NAPL: Simulator を用いて気液二相流による数値実験を実施した。不飽和特性曲線である van Genuchten パラメーターを操作すると同時に、残留水飽和度の影響も検討し、粒径区分や透気・透水性能との関係に着目した材料評価を行った。通気兼バイオフィルター層の検討には、一般廃棄物の溶融物である水砕スラグと豊浦けい砂(対照)を用いてカラム試験を行い、透気係数の測定には土壌通気性測定器(大起理化工業製)を用いた。カラム試験は直径 200mm×高さ 1000mm のアクリル円筒を使用し、マスフローコントローラーによって調整されたメタン:二酸化炭素 = 60:40%の混合ガスをインピンジャーによって湿潤させた後に、カラム底部より通気させた。覆土層下部に空隙を設けるとともに、差圧計を設置して大気圧との圧力差を計測した。硫化水素ガスの通気吸着カラム試験では、リモナイト(黄土)を添加材としたスラグ層を想定し、上方流として硫化水素 150ppm(窒素バランス)を通気させ、カラム内のガス濃度を経時的に測定した。バリア層を対象とした保水性試験では、産業廃棄物の有効利用を想定した材料として石炭灰 2 種類、

水砕スラグ及び関東ロームを用いた。試験は、三軸室を用いた加圧板法にて水分保持曲線を求めた。供試体寸法は、直径 60mm、高さ 20mm を目標寸法とした円柱形であり、実施工を想定して動的締固めによって供試体を作成した。試験方法は地盤工学会基準「土の保水性試験方法 (JGS0151-2000)」に準拠して行った。実験より得られる各ポテンシャル段階における間隙空気圧、間隙水圧、排水量及び乾燥密度を用いてマトリックポテンシャルと含水比を算出した。一定相対湿度下における自然含水比の測定では、デシケーター内に試料と水またはシリカゲルを入れ、相対湿度が一定になった時を、土中水と大気中の水蒸気との間の移動がなくなったと考え、その時の含水比を自然含水比と考えた。得られた相対湿度を化学ポテンシャルに換算し、土の保水性試験結果と併せて評価した。施工性と構造安定性を、それぞれ現場落球探査試験と数値解析によって評価した。また、両方の強度特性に関わる要素試験として室内三軸圧縮試験 (CU 試験) を行った。バリア層と通気層を統合的に判断するため、中型土槽実験を実施した。土槽は排水機能と蓄熱機能、降雨発生装置を装備し、ガスフラックス、ガス圧、間隙水圧、体積含水率、表面ならびに各層の流出量をモニタリングした。また、小型土槽を作成し、通気層内に添加された吸着材や反応材、粒度調整材の細流分流失度を評価した。

結果と考察=多機能型覆土は二つの積層からなる。上部の層はバリア層であり、バリア層の面積 (部分的にバリア層に開口部を作る) によって処分場への雨水浸透量を制御する。下部の層は通気層であり、メタン酸化と硫化水素の吸着を担っており、オフガス設備なしでも処分場上部の安全性を確保し、最終覆土施工の後、早期の跡地利用を可能にする。これより、通気層では、降雨浸透と処分場ガスの捕捉が同時に行われるため、気液の二相流れによって材料特性を評価する必要がある。バリア層の開口部へのガス流動特性ならびにパラメトリックスタディーによる不飽和浸透特性 (van Genuchten パラメーター) の影響を数値解析によって評価した。これより、バリア層と通気層の透気係数の差が重要なパラメーターとなり、さらに、材料の粒度を調整する必要があることが求められた。通気兼バイオフィルター層におけるメタン酸化能を評価するため、メタン酸化細菌に必要な酸素濃度の検討を行った。水砕スラグおよび豊浦けい砂の材料評価を実施した結果、空隙率はそれぞれ 42% および 37%、また乾燥時の透気係数はそれぞれ 11.5 cm/s、1.2 cm/s が得られた。また両者を混合した場合、豊浦砂の添加率が 20% までは 10.4 cm/s と高い透気係数を維持したが、それ以上の添加率になると透気係数が著しく減少した。また、スラグの体積含水率が 10% (飽和度 27%) までは、透気係数の大きな減少はなかった。スラグのみをカラムに充填して混合ガスの通過試験を行った結果、流量 50 SCCM において表層 20cm 下まで空気の侵入が確認された。空気侵入深さは豊浦砂のみを充填した場合とほぼ同程度であった。しかし豊浦砂の場合は 20cm 下で酸素濃度が約 3% であったのに対して、スラグの場合は 20cm 下の酸素濃度が約 9% であり、空気の浸入量が大きく異なることが示された。表層からの空気浸入量が多いことは、好気性であるメタン酸化細菌の有効利用の観点からは、大

きな利点となる。すなわちバイオフィルター層へのスラグの適用可能性が示されたものと言える。硫化水素ガスの吸着性能も同様のスラグ層を母材とし、黄土の精製粘土であるリモナイトを吸着材とした通気層を想定してカラム通気試験を実施した。150ppm の硫化水素をカラム下端から上方流によって通気させた結果、通気流量 2L/min において、カラム下端から 5cm の濃度測定点での 10 分後の硫化水素濃度も、60 分後の硫化水素濃度も変わらず、2.6ppm であり、高い硫化水素ガス捕捉性能を有することがわかった。流量を 3L/min にまで増加させると同測定点での硫化水素濃度が 12.9ppm まで上昇したことから、リモナイトを吸着材としたスラグ通気層での硫化水素ガス捕捉反応は、時間依存を考慮した反応パラメーターとする必要があることが確認された。バリア層における保水性（不飽和における難透水性）を検討するため、水分保持試験を実施した。シルトを主体とする石炭灰と DL クレイは、ほぼ同様の水分保持曲線を示した。水砕スラグは、低い含水比状態を維持し、マトリックポテンシャルも比較的小さい値を示すことから、保水性が低く、排水性に優れた材料であることがわかった。一方、関東ロームは高い保水性を有することが実験結果より確認された。松澤らは、生ごみを埋め立てている廃棄物処分場では含水率が 10～30% の範囲においてメタン酸化細菌数にほとんど障害を与えないと報告している。この値を含水比に換算すると約 11～43% となる。また、松澤らが調査を行った処分場覆土は、掘削した際の地山を用いているため、本研究で使用した石炭灰や DL クレイとほぼ同様の水分保持曲線であると推測される。含水比が 11～43% のときの石炭灰、DL クレイのマトリックポテンシャルは 15～200 kPa の範囲にあり、この範囲ではメタン酸化細菌の育成障害は小さいと考えられる。多機能型覆土の強度特性と施工管理の観点から三軸圧縮試験と落球探査試験を実施し、材料特性値を用いて構造安定解析を行い、提案した多機能覆土の安全性を確認した。覆土の基板層となる廃棄物地盤を対象とした落球探査試験結果より得られた変形係数は、既往の研究成果に対応する値となったが、有機系廃棄物と無機系廃棄物との変動係数（変形係数のばらつき）には差異が生じた。水砕スラグについては、転圧層を重ねる毎に変形係数が向上する積層効果を評価することが可能であった。試験粒度が同じであれば、現場試験である落球探査より得られる変形係数は、三軸圧縮試験結果とほぼ同様の値となることが確認された。覆土の傾斜勾配と構造安定性を検討するため、直線すべりおよび円弧すべりによる斜面安定解析を実施した。その結果、両者共に同一の結果となり、限界勾配は 1:1.93（27.3 度）と算出された。バリア層ならびに通気層の統合的検討を遂行するため、室内中型土槽実験を開始した。通気層は一般廃棄物溶融物である水砕スラグにリモナイト（精製黄土）、関東ロームを加えた材料、バリア層には関東ロームに水砕スラグを添加した材料を使用した。土槽内に積層構造を作り、最下部より、処分場ガス代替として硫化水素、メタン、窒素の混合ガスを一定圧力で吹き込んだ。覆土層内にガス採取装置を設置し、ガス濃度の変化を一定時間で分析し、実験を継続的に実施している。

結論=多機能型覆土における水分・ガス移動制御には、バリア層、通気層ともに不飽和特性

曲線である水分保持曲線の形状が重要であり、特に、粒径に起因するパラメーターの影響が大きいことが明らかとなった。また、この気液浸透における不飽和特性曲線を求めるための室内試験装置を開発し、要素試験として、いくつかの廃棄物有効利用材料を用いた保持曲線の描写を可能にした。通気層のもう一つの機能であるバイオフィルター層として、好気性菌であるメタン酸化細菌の活性を評価するためのカラム試験結果より、細砂等の細流分含有率が酸素の侵入量に影響を及ぼすことを明らかにした。さらに、硫化水素ガスに関しては、黄土の精製粘土であるリモナイトを吸着材として用いると、硫化水素ガスを多量に捕捉することができるが、その反応は時間依存であることが確認された。薄層かつ積層構造である多機能型覆土の施工管理に落球探査法を用いることの有意性を、測定手法の迅速性とコストの面から明らかにした。本研究で用いた水砕スラグや関東ロームの強度特性による検討した多機能型覆土の構造安定計算では、限界勾配 1:1.93 と算出され、実用上全く問題のない勾配を維持できることが確認され、斜面部においても積層構造の多機能型覆土が施工可能であることがわかった。