

透水性最終覆土中の水分変化挙動

田中宏和・松井亮

Moisture Content Behavior inside the Water Permeable Final Soil Cover

Hirokazu TANAKA, Ryou MATSUI

透水性が高い砂質土を最終覆土に使用している管理型最終処分場において、最終覆土内部の水分量の変化をモニタリングした。その結果、最終覆土中の水分量は浅層部では変動が大きいが、深層部では高値で変動しにくく、また、地点により土壌水分量の変動挙動に差がみられた。これらの原因として、最終覆土からの蒸発、水分移動・再分配、保有水水位の上昇および廃棄物層の不均一性が影響していると考えられた。さらに、10m 四方のキャッピングをした場合の影響について評価したところ、キャッピング下部の土壌水分量は周辺と差がみられず、豊富な浸透水量による保有水水位の上昇と、最終覆土内部の水分分配による影響が考えられた。

1. はじめに

最終処分場の最終覆土層に関しては厚さに関する法的基準はあるが、材質については「土砂またはそれに類するもの」とされ、具体的な基準は無い¹⁾。一般的には、浸出水量を削減して水処理のランニングコストを抑制するために、透水性が低い土質が望ましいとされている²⁾。しかしながら、埋立地内部の早期安定化を優先するのであれば、塩類洗い出しと有機物の好気性分解を速やかに進行させる上で、透水性と透気性が高い土質の方が有利であるように思われる。従って、処分場廃止までに要する費用を検討する上では、安定化に要する期間と処理浸出水量が重要な要素であり、最終覆土はこれらの要素に直接影響する。

しかし、透水性が高い最終覆土を採用している処分場は全国的に少なく、研究事例が少ない。そこで今回、最終覆土に砂質土を使用している管理型最終処分場を対象として、最終覆土内部の水分変化挙動の把握を目的とし、覆土中の土壌水分量をモニタリングした。

また、浸透水量の制御として有効な手法のひとつであるキャッピングが最終覆土内の水分量に及ぼす影響を調べるため、埋立地の一部に小面積のキャッピングを施し、降水を遮断した場合の水分量変化についても評価した。

2. 方法

2. 1 試験対象処分場埋立地の概要

試験は北陸地方沿岸部に位置する掘り込み式の管理型最終処分場で実施した。この処分場では埋立地造成時に発生した砂質土を保管し、最終覆土として使用している。2009年に計測した最終覆土厚は0.75m、日本工業規格 JIS A 1218 の定水位法で測定した透水係数は 1.11×10^{-2} cm/s であり、一般的な最終覆土に比べて透水性が高い。一方、廃棄物層の透水係数はバラツキが大きく、最高で 1.55×10^{-2} cm/s、最低で 8.53×10^{-3} cm/s であり、概して最終覆土よりも透水性が低い傾向にあるが、高い部分も存在した。

2. 2 土壌水分量、降水量および保有水水位調査

最終覆土の地表から深度約 0.2m と約 0.4m に複数のセンサー (onset 社製 S-SMC-M005) を埋設し、土壌水分量

を 1 時間間隔で計測した。地表の凹凸や傾斜の影響を避けるため、センサーの埋設は水準器を用い、センサー間の相対的な高さに差が生じないように配慮した。試験期間は 2012 年 6 月 23 日から 2013 年 8 月 31 日としたが、11 月 27 日から 29 日までモニタリングを中断し、野生動物によるセンサーケーブル切断対策と、それに伴うレイアウト変更を行った。レイアウト変更前後のセンサー位置をそれぞれ図 1 と図 2 に示す。

さらに、2012 年 12 月 3 日から 2013 年 5 月 2 日の間は図 2 の正方形で示した位置にブルーシート (10m×10m) を敷設し、地表から覆土層への降水浸透を遮断した (キャッピング)。ブルーシート上の降水は周囲に設置した「雨樋」にて導水し、センサーから離れた位置に排除した。試験現場の写真を図 3 に示した。

試験区域の近くに気象計も併せて設置し、試験期間中の

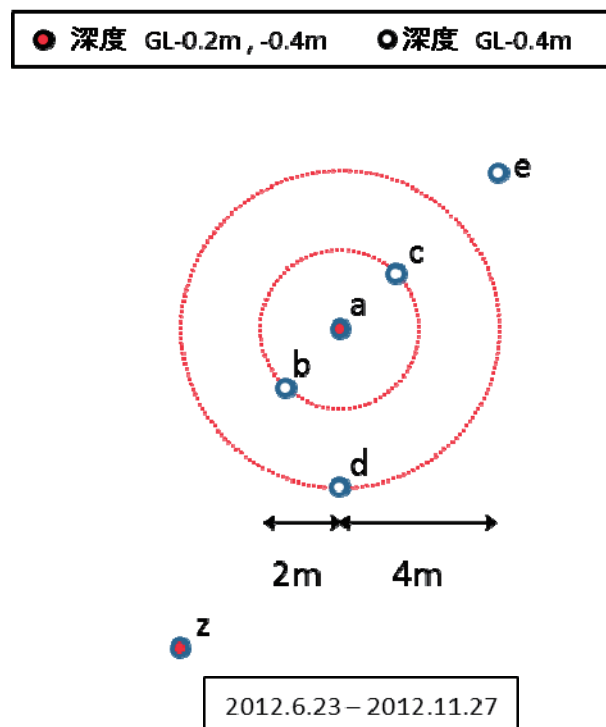


図 1 レイアウト変更前のセンサー埋設位置

気温と降水量を計測した。また、試験対象処分場から約8km離れた地点のアメダスデータを用い、Blaney Criddle法による月間可能蒸発量を算出し、その60%が蒸発に有効に使用されたとした場合の水分浸透量を算出した²⁾。

また、本報における保有水水位は、埋立地に存在する最も近傍の約30m離れた観測井の水位を用いた。

3. 結果および考察

3.1 深度による影響

2012年6月23日から11月27日までのa地点における深度0.2mと0.4mの土壌水分量(体積含水率)の変化を、降水量と併せて図4に示す。また、z地点(a地点から8mの地点)についても、気温と併せて図5に示す。この間はブルーシートの被覆はしていない。

図4、図5とも、深度0.4mに比べて0.2mの土壌水分量は低く、変動が大きい傾向がみられた。降水後に水分量が増加しており、降水直後においては短時間ではあるものの、深度0.4mよりも0.2mの水分量が多くなる場合もみられた。

月間可能蒸発量と水分浸透量を図6に示す。6月から10月までは月間可能蒸発量が100mm以上であり、8月の浸透量はマイナス値を示した。

観測井の保有水水位を図7に示す。8月を除き、保有水水位は最終覆土(GL-0.75m)以上の水位に達しており、最終覆土の底部の水分は飽和していたと考えられる。

最終覆土内部の土壌水分量に及ぼす影響因子として降水量、蒸発量、廃棄物層への浸透水量が挙げられる。砂質土は一般の土壌に比べて透水性と透気性が高いため、地表から浸透した降水は速やかに底部に移動し、かつ、大気への蒸発による乾燥も進みやすく、このことが表層部の水分変動が大きい原因と考えられた。一方、深層部においては、保有水水位がセンサーの深度(GL-0.4m)まで達していなくても、最終覆土層よりも廃棄物層の方の透水性が低い傾向があるため、水分は溜まり易い。さらに加えて、毛管現象もあることから、0.4m深度においては水分が飽和、もしくはそれに近い状態になりやすく、その結果、水分量変動が小さかったと考えられた。

なお、図5の8月にみられたz-0.4mの水分量低下は、図6と図7で確認できる水分浸透量の減少と、それによる保有水水位の低下が原因と考えられ、降雨後は速やかに回復している。覆土深層部の水分が低下している時期に集中した降水があると、浅層部と深層部の水分量が一時的な逆転が起こり得ると考えられる。

3.2 キャッピングと位置による影響

2012年11月29日から2013年8月31日までのB地点、C地点およびD地点(それぞれブルーシート中心部から

● 深度 GL-0.2m, -0.4m ○ 深度 GL-0.4m

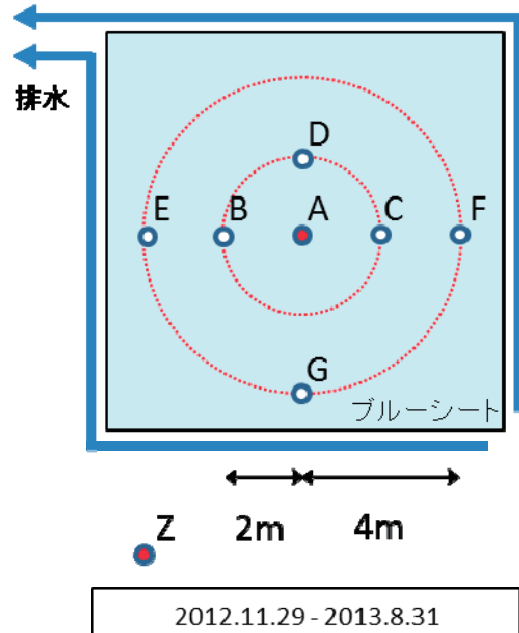


図2 レイアウト変更後のセンサー埋設位置



図3 キャッピング試験現場の写真

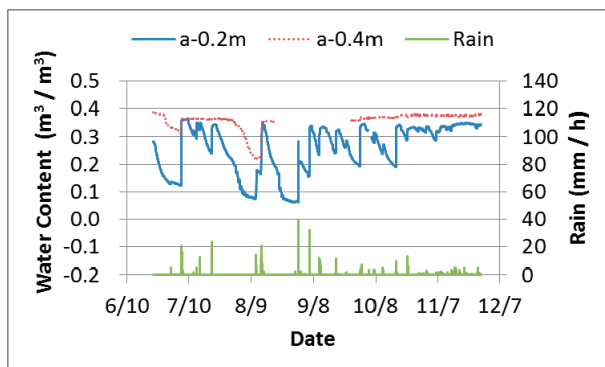


図4 a地点の水分量と降水量

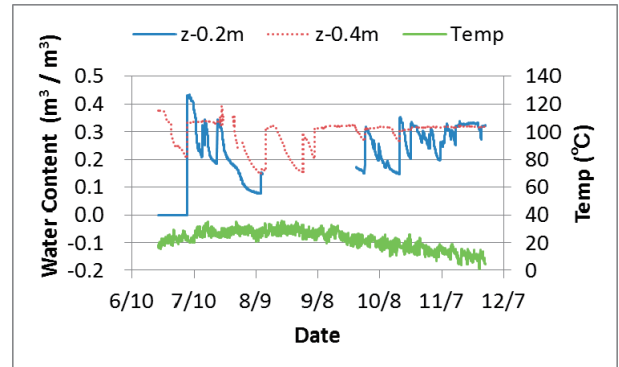


図5 z地点の水分量と気温

2m)の結果を図8に、E地点とG地点(それぞれ中心部から4m)の結果を図9に示す。図8に降水量を、図9に気温を併せて示した。F地点は試験再開直後から異常値を示し、短期間でデータ欠損したため評価から除外した。

図8では、B地点は11月29日から1月9日、D地点は3月20日以降、C地点は4月28日以降のデータが欠損している。3地点ともデータ収集できた期間については、土壌水分量の大きな変動はみられず、 $0.33 \sim 0.37 \text{ m}^3/\text{m}^3$ であり、ほぼ同程度の水分量を示した。図9では、7月にE地点とG地点で $0.1 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 程度の差がみられた期間があったが、それ以外では両地点で同程度の値を示した。

A、B、EおよびZの各地点の深度0.4mの結果を図10に示す。これらの地点はそれぞれ、ブルーシートの中央、中央から2m、4m、ブルーシート外(中央から8m)にある。モニタリング再開から3月中旬までは、全ての地点の土壌水分量はそれぞれ一定の値で推移し、大きな変動はみられなかった。

月間可能蒸発量と水分浸透量を図11に示す。12月から2月の冬期は、月間可能蒸発量が50mm未満であるが、3月以降は月間可能蒸発量が増加し、5月の水分浸透量はマイナス値を示した。

観測井の保有水水位を図12に示す。12月から2月の冬期は、保有水はGL-0.4mよりも高い水位を示しており、深度0.4mのセンサーは水没していたと考えられる。3月以降は低下し、5月から7月の間は最終覆土(GL-0.75m)以下となった。

以上から、モニタリング再開から3月中旬までの期間で水分量変動が小さかった原因は、保有水水位上昇に伴う水分飽和によると考えられ、このことは図4と図5における10月以降のキャッピングを実施していない期間においても同程度の値を示していることから示唆される。センサー間の僅かな水分量の差は間隙率等の影響が考えられ、深度0.2m付近の間隙率は $0.39 \sim 0.47$ の範囲で差がみられた。

次に、3月下旬から4月上旬にみられた水分量の変動について考察する。キャッピング中で大きな水分変動が確認されたのはこの期間のみであり、図11で示した月間蒸発可能量が増加し、水分浸透量が減少した時期と一致する。ただし、図12では、この期間の観測井の水位はGL-0.6m程度で依然高く、最終覆土層にある。

水分量が最も大きく減少したのはZ地点、続いてB地点、A地点であり、E地点についてはごく僅かな減少しかみられず、ブルーシートの中心からの距離との関係はみられなかった。さらに、E地点はブルーシート撤去後も、土壌水分量が減少した後の降雨による回復幅が大きく、全体的にも他の地点に比べて水分量が多い。一方、Z地点は降雨後の水分回復量が少ない傾向がみられた。

このような地点による水分量変化挙動の差は、廃棄物層の不均一な透水性が影響していると推察した。つまり、下部の埋立廃棄物の透水性が高く、浸透水が速やかに下部に移動しやすい地点であっても、降水量が多く、水分浸透量が豊富な期間は周囲から水分が移動することによる水分の再分配が発生し、周囲と同等の水分量を維持できる。しかし、水分浸透量が少なくなると、再分配による水分移動速度が低下し、相対的に廃棄物層への浸透移動速度の方が速い部分が発生し、その結果、地点により最終覆土層の水分量に差が生じたものと考えた。

地点による水分量変動挙動の差異を引き起こす因子としては、廃棄物層の透水性以外にも表層部の蒸発散量の差異が考えられる。例えば、部分的なキャッピングは降雨を

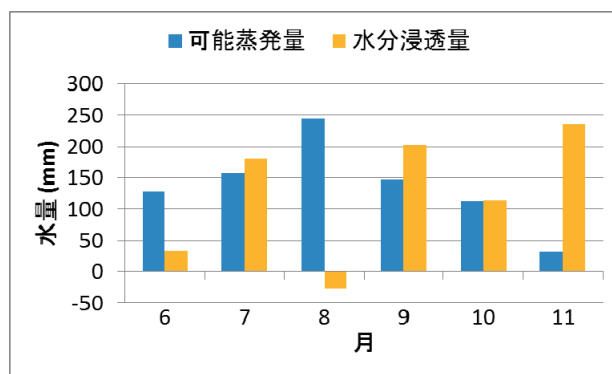


図6 可能蒸発量と水分浸透量

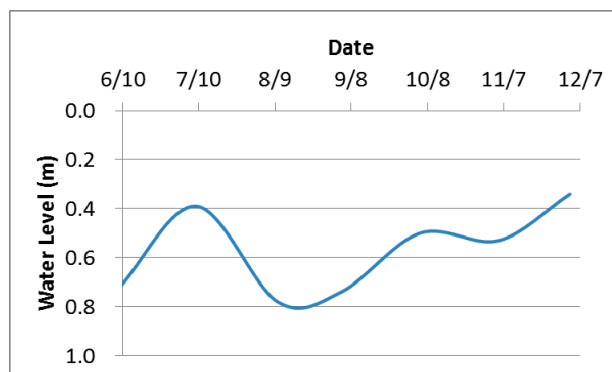


図7 観測井の地表からの水位

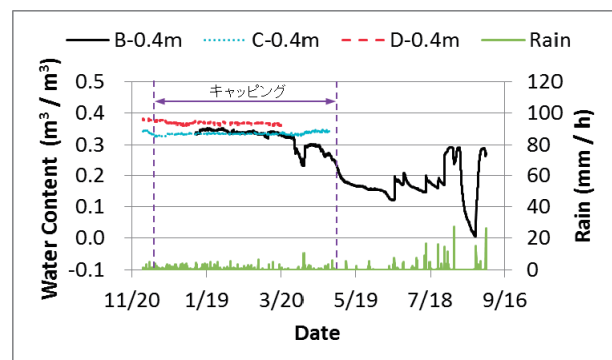


図8 2m地点の水分量と降水量

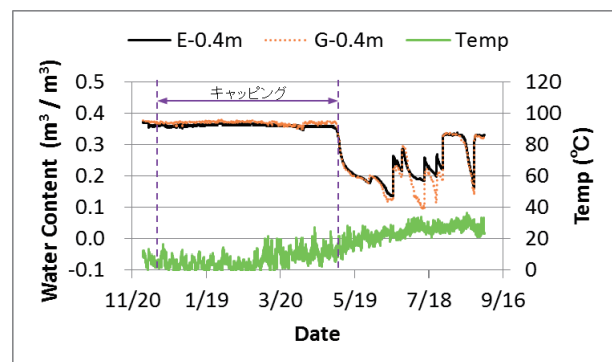


図9 4m地点の水分量と降水量

遮水するだけでなく、蒸発可能量も低減させる効果がある。つまり、夏期の蒸発散量が大きい時期はキャッピング部以外の水分量が低下することで吸引力が発生し、キャッピング下部の水分がキャッピング部周辺に移動することが考

えられる。しかし、透水性が高い砂質土を使用した場合は蒸発に起因する水分移動よりも、降雨の浸透による水分移動が速いため、本研究で試験した程度の部分的なキャッピングが、その下部の土壤水分のみを局所的に低下させることは考えにくい。

4. まとめ

最終覆土に砂質土を使用した場合、最終覆土中の水分量は浅層部では変動が大きく、深層部では高値で変動しにくいことが分かった。浅層部の変動は深部への水分移動と蒸発が、深層部の安定は保有水水位の上昇と毛管現象に伴う水分飽和が原因と考えられた。

また、地点による土壤水分量の変動挙動に差がみられた。これは廃棄物層の不均一な透水性によるものであり、水分浸透量が少なく保有水水位が低い時期においては、透水性が高い埋立廃棄物の上部にある覆土中の水分減少が、最終覆土内部での周囲からの水分の移動・再分配よりも速くなることが原因と推察された。

本研究では、部分的なキャッピングによって降雨を遮断しても、保有水水位の上昇や覆土層内での水分移動・再分配により、キャッピング下部の水分量がキャッピング部周辺と同程度で維持されることが確認された。このことは、透水性が高い最終覆土を用いた埋立地において、キャッピング面積が過大でなく、周囲に水分浸透する部分があれば、下部の廃棄物層への水分浸透や塩類洗い出し効果を阻害しないことを意味しており、総浸透水量と水分浸透エリアを適正に調整したキャッピングは安定化の促進と維持管理費用の削減を同時に実現することが期待できると考えている。

謝辞

本研究は、特別電源所在県科学技術振興事業「安定化の促進と安全な跡地利用のための最終処分場の分析評価と技術開発」の一環として実施した。御指導いただいた国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター廃棄物適正処理処分研究室の山田正人室長、遠藤和人主任研究員、石垣智基主任研究員、日本工業大学の小野雄策教授、早稲田大学理工学術院の香村一夫教授、そして、調査に御協力いただきました関係者の方々に深謝いたします。

参考文献

- 1) 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る技術上の基準を定める省令（昭和52年3月 総理府・厚生省令）
- 2) 社団法人全国都市清掃会議：廃棄物最終処分場整備の計画・設計要領（平成13年11月28日）

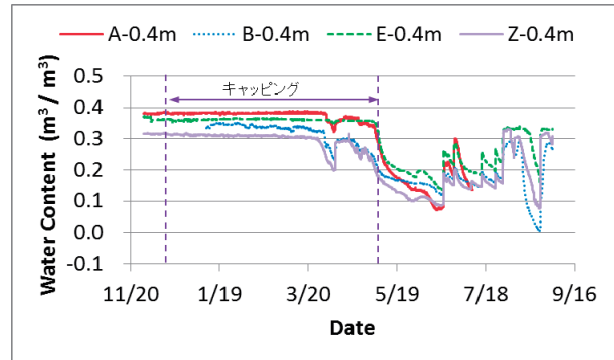


図10 各地点の水分量

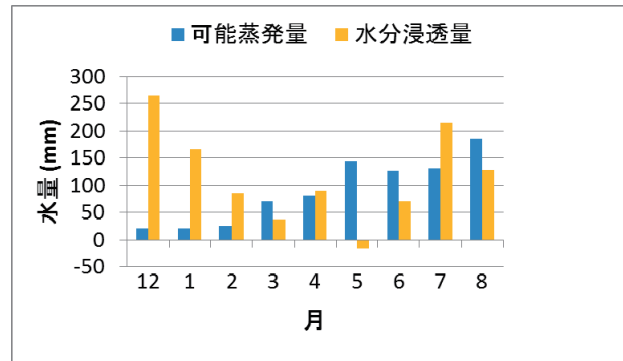


図11 可能蒸発量と水分浸透量

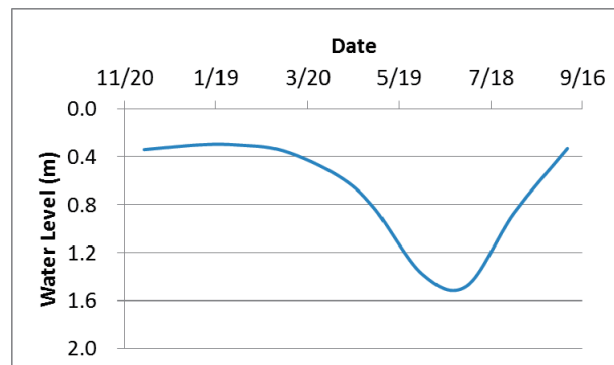


図12 観測井の地表からの水位