

揚水返送循環方式による最終処分場安定化促進基礎技術開発 (第2報)

田中宏和・中村大充・磯部友護*1・椿 雅俊*2・香村一夫*3

Development of Basic System Aiming at Stabilization of Waste Landfill
by Pumping Circulation of Leachate (Part 2)Hirokazu TANAKA, Masamitsu NAKAMURA, Yugo ISOBE*1,
Masatoshi TSUBAKI*2, Kazuo KAMURA*3

1. はじめに

多種多様な廃棄物が埋め立てられる管理型最終処分場の埋立層内は、物理・化学・生物的に不均質な状態である。埋立物成分の相違だけでなく、その物理的性状や強度は透水性や透気性を変化させる。加えて、廃棄物層の厚みや保有水の水位は、地表からの大気侵入の障害となる。そのため、埋立地全体が一様に安定化することはない。しかし、処分場を廃止するためには、埋立地全体の環境汚染リスクの低減化と安全性を確認することが重要である。したがって、処分場の早期廃止のためには、安定化が遅延している部分を把握し、何らかの方法によって、その部分の安定化を促進させると効率的であると考えられる。

埋立層内部の状態把握については、各種物理探査を利用した研究が進んでいる¹⁻¹⁰⁾。一方、安定化促進技術としては循環式準好気埋立システム(福岡方式)が世界的に最も有名であり、既に国内の多くの処分場で導入されている¹¹⁻¹⁵⁾。この方法は集排水管やガス抜き管内の温度差による空気対流を利用した技術である。そのため、処分場の設計時には導入を決定しなければならない。つまり、埋立地全体を対象とした安定化促進技術であり、局部を対象とし、埋立終了後に追加的に施工可能な技術ではない。また、その原理上、海面埋立処分場等の保有水水位が高い処分場には適用できない。

本研究では、埋め立てが終了し、保有水の水位が高い処分場に適用可能である、局所的な安定化促進技術の開発を目指している。具体的には、保有水を地上に揚水し、それを透水性が高い最終覆土に給水させることで、埋立層内の停滞している部分の保有水を強制的に循環移動させる。この効果により、塩類洗い出しを促進させるとともに、溶存酸素が供給されることによる有機物の分解促進効果も期待している。2012～2013年には実験規模の揚水循環システムを用いた現場実証試験を行い、その効果については過去に報告した^{16,17)}。今回、異なる埋立地において、再検証試験を行った。

2. 方法

2.1 試験用揚水循環システムの構造

揚水循環システムは揚水部、導水部および給水部で構成される。揚水部の構造を図1に示した。塩分や硫化水素ガ

*1 埼玉県環境科学国際センター

*2 東急建設株式会社

*3 早稲田大学

スによる腐食予防と、浮遊物質による閉塞対策のため、揚水方法は浄化槽によく用いられるエアリフト方式を採用した。本試験の揚水井としては、地下深さ4mの観測井を利用した。この観測井は最下部1mのみがストレーナー構造となっている。揚水管は塩化ビニル製水道管(VP25)を用い、最下部から0.5mの位置に送気管を設置した。地上部は1.55mの高さで容積約20Lのタンクに接続した。タンクは上部を大気開放し、エアリフトに用いた空気を排出する構造とし、タンク内から浸出水が出る高さは地表から1.1mとした。送気には最高圧力0.3MPa、送気量20L min⁻¹(0.2MPa時)のダイヤフラム式小型コンプレッサーを使用し、電力は多結晶太陽電池モジュール、高サイクル密閉型バッテリーおよび正弦波インバータを使った自作の電源装置から供給した。送気は間欠運転とし、タイミングと時間はタイマーにて制御した。揚水井には投げ込み式の水位計と電気伝導率(EC)計を設置した。

導水部は塩化ビニル製水道管(VP25)を用い、最終覆土上に敷設した。平面図を図2に示す。導水長は約20mとし、揚水部から5m付近にエア抜き管を設置した。前回試験では全長107mの導水に成功しているが^{16,17)}、本試験では試験区画面積が小さいため導水長を短くした。本実験システムの導水管内流速を6L min⁻¹と仮定すると、ウェストン公式によれば350m以上の導水が可能である^{16,18)}。

給水部は導水管を地中方向に90°曲げ、GL-0.2mの深さまで最終覆土に埋設した。試験区画の最終覆土には砂質土が使われ、2009年に計測した覆土厚は1.3m、透水係数は $3.11 \times 10^{-3} \text{ cm s}^{-1}$ である。

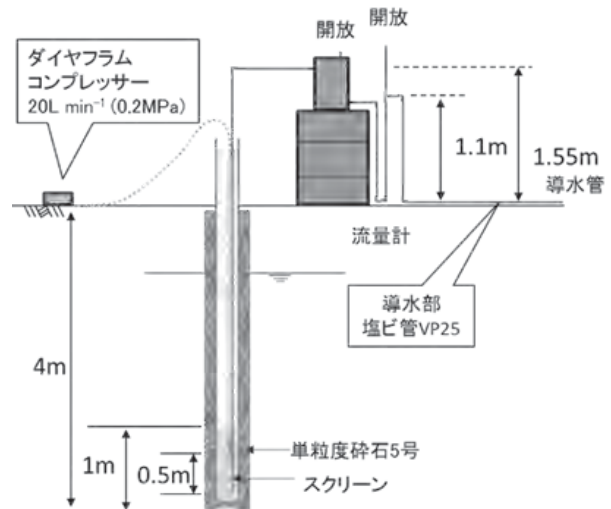


図1 揚水部概略図

2. 2 試験方法

試験期間は2016年3月16日～2017年1月31日とした。しかし、2016年8月17日～9月9日と10月27日～11月4日は他の調査のために揚水循環システムの運転を休止した。運転前に揚水井の集水能力を調査したところ、井戸内滞留水を全て揚水した後に元の水位まで回復するには24時間以上かかることが分かった。このことから、今回の試験に用いる揚水井は前回試験の揚水井に比べて集水能力が著しく低いことが判明したため、揚水間隔は前回試験よりも少ない、1日当たり5分間1回のみとした。

試験期間中の2016年10月26日に図2の破線で示した測線で試験区画の比抵抗探査を実施し、揚水井と注水地点付近の埋立廃棄物層内の比抵抗断面図を得た。計測はダイポール・ダイポール法を用い、電極間隔は1mとした。

3. 結果と考察

3. 1 揚水量と揚水井の水位変化

揚水量の積算値を図3に示した。実験システムの運転開始と終了時期を縦実線で示した。試験期間中の積算揚水量は約2.0 m³であり、試験期間の日間平均が約6.3 L、1回あたりの平均揚水量が約6.9 Lであった。前回試験は71日間の運転で約62 m³を導水したため^{16,17}、前回試験に対する本試験の積算揚水量は約3.2%、1日当たり揚水量は約0.7%であり、著しく少ない。

揚水井の水位と、揚水井から約15m離れた地点にある観測井の水深の変化を図4に示した。なお、図に示した水深の値は井戸内の水位計を起点とした水位である。見かけ上では観測井の水深が揚水井よりも深くなっているが、実際にGLからの保有水水位を表しているわけではない。

揚水井の水深は運転開始前が約2mであったが、運転開始後は約1.2mまで低下し、運転期間中はほぼ毎日、約1mの水位変動があった。この水位変動は揚水循環システムの運転に伴うものであり、ポンプの停止時間(約24時間)では揚水井の水位が十分に回復できていないことが分かる。このことから、運転期間中の揚水井内と保有水の間には水位差があり、周辺の保有水が揚水井に集まる力が働いていたと考えられる。また、ポンプ運転開始前における水位(変動幅の最高点)の変化が観測井の水位変化と類似していることから、揚水井の集水能力が保有水水位の影響を受けていることが示唆された。

3. 2 揚水井内滞留水のEC変化

揚水井内滞留水のECの経時変化を図5に示した。縦破線は後述する比抵抗探査の実施日を示している。運転開始後から8月までは低下傾向を示したが、8月17日～9月9日の運転休止期間に上昇し、運転再開後から9月末までは低下した。その後は上昇に転じ、12月以降は低下するなど、経過時間に対して複雑な変動を示した。この変化は、揚水井に集水される保有水のEC変化に由来すると考えられる。

毎回の揚水により発生するEC変化幅は12月頃以降に大きくなった。この原因は、試験を実施した北陸地方においては冬季の日射量が少なく、かつ、降水量が多いために浸透水量が増加し^{19,20}、塩分の少ない保有水が揚水井に集水されやすくなることが影響していると考えられる。このEC変化幅の季節的な増減挙動は前回試験でも確認されている^{16,17}。

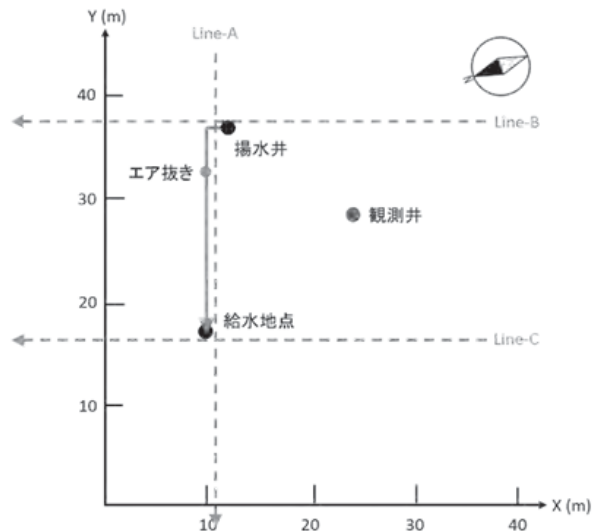


図2 導水平面図

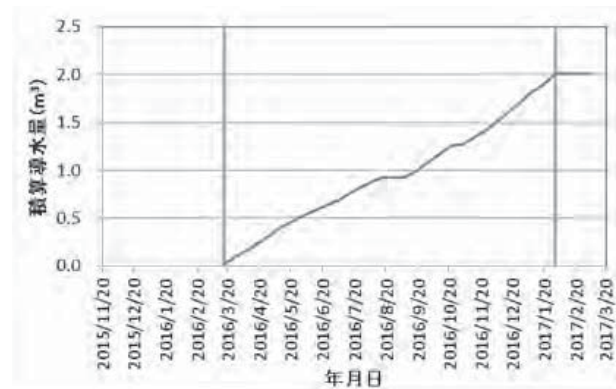


図3 累積揚水量

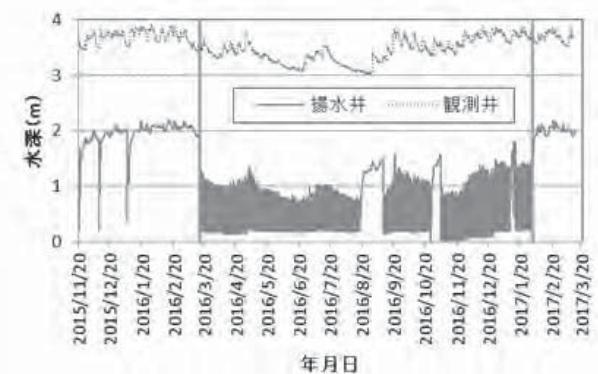


図4 揚水井と観測井の水位経時変化

3. 3 埋立層内の比抵抗の変化

試験区画の比抵抗断面図を図6に示した。比較のため、2014年に実施した探査結果も併せて示した。

Line-A (2016)の揚水井付近に着目すると、揚水井のストレーナーがある深度4m付近の比抵抗が低く、特に右側は2014年に比べて低下している。Line-B (2016)においても、揚水井付近の深度4mの比抵抗が周囲に比べて低く、2014

年の比抵抗断面図とは明らかに異なる。これらのことから、比抵抗探査を実施した頃の揚水井には EC の高い保有水が集水していたと考えられ、図 5 の EC 変化と整合的である。

Line-A (2016) の給水部付近に着目すると、表層部の比抵抗が 2014 年に比べて低いことが分かる。これは、毎日の給水により最終覆土の含水率が増加していることが要因と推察される。しかし、Line-C (2016) では表層部における比抵抗の低下は確認できなかった。

深層部においては、Line-A (2016) では給水地点の深度 2～4 m の比抵抗が周縁に比べて特異的に高い結果が得られた。Line-C (2016) においても深度 1～3 m 付近の比抵抗が高かったが、Line-A (2016) に比べてその範囲は小さい。給水地点下部における比抵抗の上昇は前回試験でも確認しており^{16,17)}、塩類洗い出しが促進された影響による可能性が高い。上述したとおり、比抵抗探査を行った時期の循環水の EC は高いことから、比抵抗上昇ゾーンの存在は矛盾する結果にも思える。しかし、今回の試験は前回試験に比べて循環水量が少ないため、深層部における比抵抗の低下は、それまでの EC が低い（塩分濃度が低い）期間の効果によるものと推察される。また、Line-A と Line-C の給水地点付近の比抵抗断面図の相違は、最終覆土層と埋立廃棄物層に循環保有水が一樣に浸透していないことを示しており、層内の不均質性による透水性の相違が原因と考えられた。

4. まとめ

管理型最終処分場において実験規模の揚水循環システムを用い、安定化促進効果を検証した。揚水循環システムを約 1 年間運転したが、装置の故障や配管の閉塞などはなく順調に稼動し、メンテナンスも不要であった。

今回の試験は前回試験に比べて集水能力が低い揚水井を用い、揚水循環水量が著しく少ない条件で実施した。すなわち、塩類洗い出しが進行しにくいと推察される難透水性部における効果の検証を実施したことになる。揚水井内滞留水の季節的な EC 変化や試験区画の比抵抗断面図は前回試験とほぼ同様な結果が得られた。つまり、揚水部では周縁からの保有水の移動が示唆され、給水部では塩類洗い出しの促進効果が示された。

今回の試験においては、難透水性部に揚水井を設置することにより、停滞する保有水を移動させている可能性が示唆されたことは意義深い。一方、給水部においては循環水が透水性の高い部分に優先して浸透し、透水性の低い部分には浸透しにくいことが確認された。これらのことから、揚水循環システムを効率的に活用するには、安定化の遅延部に揚水井を設置し、給水部は安定化が比較的進んだ場所を選定することが有効と考えられる。本システムの構造は簡易あり、揚水井設置費用を除いたイニシャルコストは安価である。また、エアリフトを連続して行う必要がないため、複数箇所の揚水のタイミングをずらせば 1 台のコンプレッサーを複数の揚水に用いることも可能である。

これまで、塩類洗い出し効果を主に検証試験を実施してきたが、今後は有機物分解に及ぼす効果の検証を進めていきたいと考えている。

謝辞

本研究は、特別電源所在県科学技術振興事業「跡地利用

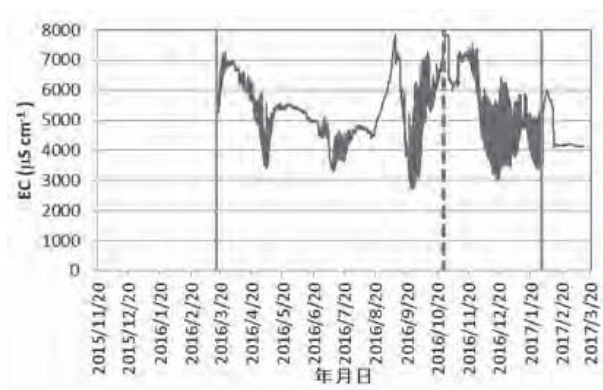


図 5 揚水井内滞留水の EC 経時変化

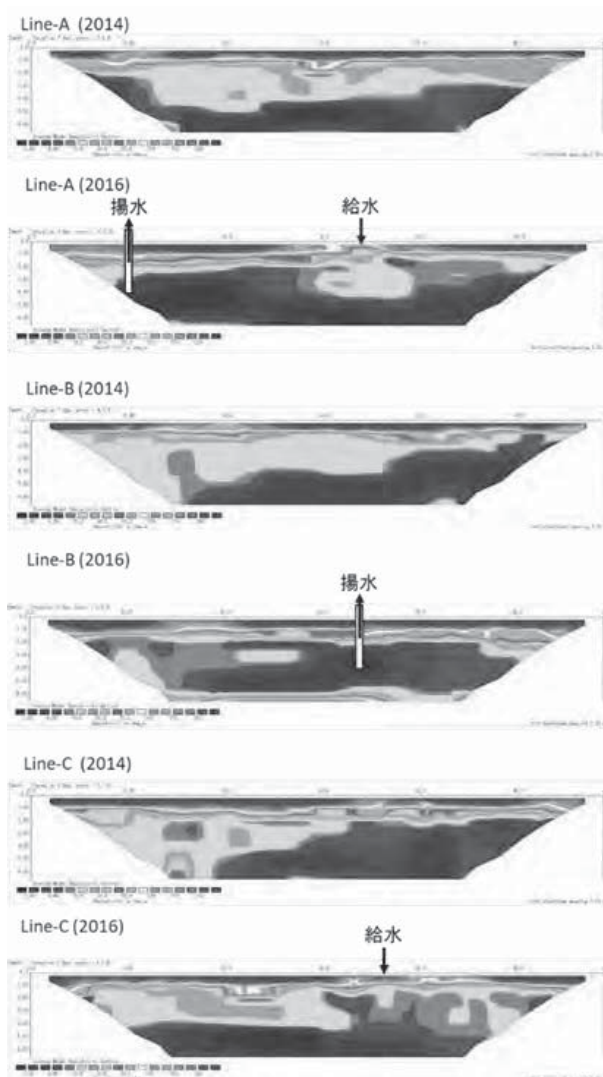


図 6 試験区画の比抵抗断面図

された最終処分場における安定化に関する研究」の一部である。調査に御協力いただきました関係者の方々に感謝します。

参考文献

- 1)遠藤和人,山田直之,杉本芳博:時系列比抵抗探査による最終処分場の内水探索,第15回廃棄物学会研究発表会講演論文集,1255-1257(2004)
- 2)Kamura Kazuo, Hara Yu, Bulent Inac, Yamada Masato, Inoue Yuzo, Ono Yusaku: Effectiveness of resistivity monitoring for interpreting temporal changes in landfill properties, *Journal of material cycles and waste management*,7(2), 66-70(2005)
- 3)栗原正憲,大石修,佐藤賢治:電気、電磁探査による最終処分場モニタリングの有効性検,第19回廃棄物学会研究発表会講演論文集,753-755(2008)
- 4)福井博,高橋通正,坂本広美,辻祥代,三村春雄:電気探査技術の活用による廃棄物最終処分場の安定化判定に関する研究,神奈川県環境科学センター業務報告 2010年版,77-82(2010)
- 5)Kamura Kazuo, Okuno Manami, Sakurama Toshinori, Wakabayashi Kyoko, Oyama Kenya, Tanaka Hirokazu: Metal enrichment processes and exploration of enriched zones in landfill sites, *Proceedings of ISWA World Congress (ISBN978-3-200-03229-3)*, Electronic file(2013)
- 6)Kamura Kazuo, Ito Takahiro, Yokose Ryuji, Kurokawa Masahiro, Takeuchi Mutsuo, Tanaka, Hirokazu: Exploration of metal-enriched zones in landfills, *Proceedings of IWWG-ARB2015*,123-128(2015)
- 7)黒田雅裕,横瀬隆司,田中宏和,竹内睦雄,香村一夫:様々な電気探査法による廃棄物埋立層内部状態の可視化,物理探査学会第133回学術講演会論文集,1-4(2015)
- 8)黒田雅裕,横瀬隆司,高橋光馬,田中宏和,竹内睦雄,香村一夫:電気探査比抵抗法による廃棄物埋立層内の水みち探索,物理探査学会第134回学術講演会論文集,195-198(2016)
- 9)田中宏和,山田正人,香村一夫:最終処分場モニタリング技術の現状と課題,廃棄物資源循環学会誌,27(1), 27-38(2016)
- 10)香村一夫,黒川雅裕,横瀬隆司,伊藤貴宏,竹内睦雄,田中宏和:比抵抗法による廃棄物埋立層内水みち探査法の開発とその有効性,物理探査 69(3),173-183(2016)
- 11)花嶋正孝:21世紀に求められる最終処分場の全体像(特集 最終処分場技術の最前線・安全,共生,循環がキーワード),資源環境対策,36(14),1222-1225(2000)
- 12)元村隆一:準好気性埋立の現状と今後の展望(特集/循環型社会における最終処分場の方向),都市清掃,58(268),544-550(2005)
- 13)松藤敏彦:欧米における埋立地安定化促進戦略と日本の埋立技術(特集 これからの最終処分場・現状・最新動向から跡地利用まで),月刊廃棄物,32(11),17-21(2006)
- 14)『環境ビジネス』:入門廃棄物道場 vol.6 進化する管理型最終処分場「準好気性埋立て構造」,77,86-92(2008)
- 15)立藤綾子,平田修:準好気性埋立構造(福岡方式)海外へー国際的な可能性ー,廃棄物資源循環学会誌,20(6), 308-313(2009)
- 16)田中宏和,椿雅俊,磯部友護,大石修:揚水返送循環方式による最終処分場安定化促進基礎技術開発,福井県衛生環境研究センター年報,12,80-83(2013)
- 17)田中宏和,椿雅俊,磯部友護,大石修,藤井直幸,大家清紀,石垣智基,遠藤和人,山田正人,香村一夫:揚水返送循環方式による最終処分場安定化促進技術の基礎研究,第24回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集,501-502(2013)
- 18)水理計算の岸知識-17章管との摩擦によって失われる力:<<http://suidoubox.net/suiribasic17.html>> 2014.06.16 閲覧
- 19)田中宏和,松井亮,大家清紀,石垣智基,遠藤和人,山田正人,香村一夫:砂質最終覆土の水分量変化挙動,第36回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集,291-293(2015)
- 20)田中宏和,松井亮:透水性覆土中の水分変化挙動,福井県衛生環境研究センター年報,13,63-66(2014)