

南本牧廃棄物最終処分場の 残有水面に存在する浮泥の実態把握

吉田 拓司¹・山田 和弘²・山崎 智史²・
中田 泰輔¹・星山 英一¹・河合 徹¹

¹正会員 八千代エンジニアリング株式会社 環境計画部（〒161-8575 東京都新宿区西落合二丁目18-12）
E-mail:tk-yoshida@yachiyo-eng.co.jp

²非会員 横浜市 資源循環局処分地管理課（〒231-0013 神奈川県横浜市中区住吉町一丁目13）

横浜市南本牧廃棄物最終処分場では、残有水面の残容量を把握するため、音響測深法にて測量し、精度確認のために重鎮法を採用しているが、両測量方法の結果に差が生じている。その差について水底部をCCDカメラで確認したところ、易“浮”遊性の“泥”を確認した。両測定結果の差を浮泥の堆積厚さとし、音響測深法による水深との関係性を把握したところ、両者の間で相関関係が見られ、埋立が進むにつれて近似曲線の傾きが増加することを確認した。室内試験結果より、埋立による外力や、主灰中に浮泥となるものが存在する事が原因として考えられる。また、浮泥の室内溶出試験を実施したところ、高温で好気的条件下で20日後に硝化（NH₄-N→NO₂-N）が確認されたため、現在実施している曝気等により窒素形態の変化が考えられることから、今後も水質のモニタリングが必要であることが示唆された。

Key Words : fluid mud, inland water, final disposal site, quality,behaviour

1. はじめに

横浜市南本牧廃棄物最終処分場（以下、南本牧処分場）は南本牧ふ頭埋立地内に位置（図-1）し、遮水護岸や排水処理施設等を整備し、表-1に示すように平成5年から水面埋立を開始した。平成26年度末で約95%の埋立てが終了しており、処分場の延命化対策（焼却灰の資源化、処分場の減容化「高密度化工事」等）を行いつつ、次期処分場の供用開始予定である平成29年度まで埋立を行う予定である。

このような現状の中、埋立の終末期をむかえ残容量については精度の高い管理が求められている。残容量の把握にあたって、これまで音響測深法（以下、音波測量）による測量及び重鎮法（以下、レッド測量）を実施しているが、近年では、2つの測定法の差が顕著になっており、この原因を把握するため水底部をCCDカメラで調査したところ、易“浮”遊性の“泥”を確認した。その物体を「浮泥」と呼び、この浮泥により、今後の最終処分場の運営管理に支障を及ぼさないようにするため、平成26年2月からその実態の把握を進めてきた。

この「浮泥」は、他の処分場でも存在が確認され、水



図-1 南本牧処分場の位置

表-1 南本牧処分場の諸元

埋立面積	179,000m ²
埋立計画量	約4270,000m ³
埋立期間	平成5年11月～平成29年度（予定）
受入対象	一般廃棄物、産業廃棄物
排水処理能力	1,500m ³ /日

質分析や溶出特性、埋立時の沈降状況等の知見が存在しているものの^{1～3)}、空間的な堆積特性や流動性、埋立の進行に伴う量的な増減（量的な知見）、水質や埋立作業、

排水処理施設への影響等（質的な知見）など未知な部分が多い。

そこで、本報告では以下のような浮泥の量的、質的把握、水質面から見た処分場管理に必要な項目について検討を行った。

- ①残有水面水底部の堆積状況の把握と埋立の進行に伴う変化の把握。
- ②室内試験による流動性の把握。
- ③焼却残渣「主灰」から浮泥となるものの割合の確認。
- ④排水処理施設へ流入した場合の影響検討。
- ⑤室内試験により水温や溶存酸素量を変化させた場合の溶出状況の把握。
- ⑥残有水面の水質の季節別空間特性の把握。
- ⑦硫化水素発生の可能性の検討。

海面処分場は陸上の処分場よりも規模が大きく、大都市圏において有効かつ重要な廃棄物の処分施設であると言われており、その管理において本報告のような「浮泥」について懸念された場合の基礎資料として参考とされたい。

2. 調査概要

(1) 音波測量とレッド測量

南本牧処分場では、埋立残容量把握のため、音波測量（千本電気株式会社製，PDR1300 シングルビーム全角 6° ）は10m間隔で実施し、周波数は200kHzを用いている。また、レッド測量（H230×W60mm，重量3kg）に関しては、50m間隔で実施している。本検討では、平成26年2月と平成27年2月の測量結果を用いて、浮泥の堆積厚さについて比較検討を行った。

(2) 浮泥の室内試験（量的把握）

室内試験に用いる浮泥は残有水面から「バックホウ」を使用し、採泥、静置後に出現する浮泥層から採取した。

a) 浮泥の流動性試験

浮泥が埋立により移動する物体であるかを確認するために、容器（幅450mm（仕切り板が150mmの位置にある）×高さ400mm×奥行100mm）を用意し、以下のような実験を行った。

- ①採泥後、容器に入れ、浮泥の状況を目視で確認
- ②主灰を投入
- ③主灰投入後の浮泥の移動と堆積状況を確認

本来ならば、実際の処分場の形状や深さ等を考慮し、流動性の実験装置を作成する事が望ましいが、今回は簡易的に「浮泥が移動するか否か」を確認した。

b) 物性値試験

浮泥と考えられる部分と、その下に存在する泥の粒径

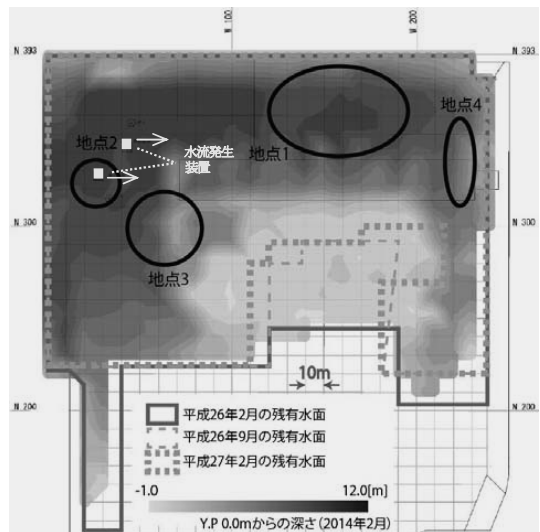


図-2 南本牧処分場の残有水面の経年変化と調査位置

分布（島津製作所製，SALD-3000S），密度（JIS A 1202），含水比（JIS A 1203）を測定した。

c) 主灰中の浮泥の割合

南本牧処分場に埋立っている横浜市の4つの焼却工場の主灰を、「a) 浮泥の流動性試験」で用いた容器に投入し、一定速度で攪拌した後に、目視により浮泥の堆積厚さを測定した。

(3) 残有水面の季節別水質空間分布特性

図-2に示す4地点で、平成26年2月と9月に、「冬季」「夏季」の位置づけで水質調査を実施した。調査項目は水温・DO（東建エンジニアリング製，P106P型）に関しては、表層から水質の変動を確認しながら0.5～2.0m間隔で現地計測し、pH・ORP（HORIBA製，D-54型），BOD（JIS K 0102 21 及び32.3），硫酸イオン（JIS K 0102 41.3）については、表層，中層（浮泥層から上部2m），浮泥層で採水し分析した。採水にはバンドーン採水器を用いた。なお、図-2に示すように残有水面に設置されている、水流発生装置（エビスマリン製，MJS-150）2基による水質改善効果も合わせて検討した。

(4) 浮泥の室内試験（質的把握）

a) 排水処理施設へ流入した場合の影響（凝集試験）

埋立末期には残有水面が小さくなるため、浮泥の堆積厚さが増加した状況を想定し、浮泥が排水処理施設へ流入した場合の影響を確認するために、実際の排水処理施設の処理工程を模擬した形で、凝集試験を実施した。凝集試験の内容は表-2に示すとおりである。

凝集試験後、確認する水質項目としては、目標値とし

表-2 排水処理施設の処理条件と凝集試験項目

処理条件		
第一急速攪拌槽	pH値(目標値)	9.4
	塩化第二鉄の添加率	160mL/min
	滞留時間	20min
第一緩速攪拌槽	高分子凝集剤の添加率	720mL/min
	攪拌速度	40rpm/min
	滞留時間	15min
第一凝集攪拌槽	滞留時間	220min
水質項目		目標値[mg/l]
化学的酸素要求量(COD)		500
浮遊物質(SS)		50
銅及びその他の化合物(Cu)		1.0
鉄(Fe)		3.0
鉛及びその他の化合物(Pb)		0.1
亜鉛及びその他の化合物(Zn)		1.0

表-3 溶出速度試験の溶出条件と測定項目

溶出条件		
水温	高温	約29℃
	低温	約7℃
溶存酸素量	飽和	空気曝気
	貧酸素	窒素曝気(1mg/L未満)
測定頻度	0、3、6時間後、1日後、5日後、9日後、20日後、30日後	
測定項目		
全窒素(T-N)、アンモニア性窒素(NH ₄ -N)、亜硝酸性窒素(NO ₂ -N)、硝酸性窒素(NO ₃ -N)、全リン(T-P)、リン酸態リン(PO ₄ -P)		

で設定されている表-2に示す項目COD, SS, Cu, Fe, Pb, Znを対象とした。

b) 溶出速度試験

溶出速度試験は国土交通省のガイドライン⁴⁾に従い実施し、溶出させる水としては、処分場内の残有水面の表層水とした。

浮泥の溶出速度試験(表-3)は、浮泥層による水質への影響や、曝気等の効果を把握するために、水温2パターン(夏季、冬季)、溶存酸素2パターン(飽和状態、貧酸素状態)の計4パターンで実施した。

水温については、直近5カ年分の水温データを整理し、90%信頼区間の中に入る水温のうち、高い水温29℃、低い水温7℃を設定し、溶存酸素量については空気曝気による飽和状態と、窒素曝気により1mg/L未満となるように設定した。測定頻度に関しては、「初期状態、3時間後、6時間後、1日後、5日後、9日後、20日後、30日後」と測定した。測定項目としては、T-N、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、T-P、PO₄-Pとした。

3. 調査結果

(1) 浮泥の堆積厚さについて

図-2に示す地点4において、CCDカメラで水中を確認したところ、下層のある地点で明確な黒い層が見え、その層の位置は現在採用されている音波測量200kHzで測定している深さであった。また、周波数を変えて210kHz

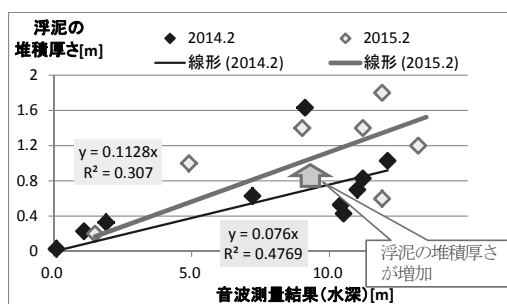


図-3 音波測量結果(水深)と浮泥の堆積厚さの相関関係

(千本電気株式会社製, PDR8000)でも確認したと同様であった。ここで、レッド測量では、その黒い層(易“浮”遊性の“泥”)を通過したことから、本検討では、レッド測量と音波測量の差を“浮泥層”と位置付けることとした。

平成26年2月と平成27年2月の音波測量結果と浮泥の堆積厚さ(レッド測量結果と音波測量結果の差)の関係を図-3に示す。ここで、平成27年2月は、図-2に示すように残有水面の埋立が進んでいるために、陸地部分が多くなっている事が確認できる。図-3より、音波測量結果(水深)と浮泥の堆積厚さは、両者に相関関係が見られた。また、平成27年2月は、平成26年2月よりも傾きが大きいことから、浮泥の堆積厚さが増加していることが示されている。これは、主灰そのものに浮泥となる要素があることと、また、残有水面への埋立が進むにつれて、浮泥が移動していることが推察される。

(2) 浮泥の流動性試験

流動性試験に必要な浮泥を採取する方法として、バンドーン採水器や、エクマンバージ採泥器を用いたが、バンドーン採水器では、浮泥層に到達したと同時に外力により浮泥層が巻き上がってしまうため、希釈された状態で採取され、エクマンバージ採泥器では、浮泥の粒径が細かいため、採取する事ができず、結果的に、両者とも実験に必要な量を採取する事ができなかった。そこで、バックホウ(平積み0.8m³)を用いて、底泥を容器に採取し、静地させたと、図-4①に示す写真と同じように、2つの層に分かれ、浮泥層とその下の層(以下、廃棄物層)に分かれた。採取時期は異なるが、同じ方法と場所で採泥した、浮泥層と廃棄物層の粒径分布を図-5、土粒子密度、含水比を表-4に示す。図-5のD₅₀を見ると、浮泥層はシルト、廃棄物層は中砂となっていた。また、土粒子密度はそれぞれ、2.467g/cm³、2.396g/cm³と大きな差がなかったものの、含水比は浮泥層が495%、廃棄物層は59%であった。浮泥の粒径分布、含水比からも巻き上がりやすさを確認した。



図-4 流動性試験結果

このような物性値をもつ浮泥層と廃棄物層に、図-4②のように、埋立状況を模擬し、主灰を投入したところ、浮泥層が一気に移動し、主灰投入1時間後には、図-4③に示すように、しきりの右側では浮泥層の厚さ（約4.5cm→約6.0cm）が増し、左側では浮泥層を2層確認した。これは、浮泥層が全て移動せず、投入した主灰に含まれる廃棄物層に挟まれる形で残ることや、主灰の投入による巻き上がりによるもの、さらに投入した主灰から浮泥化するものがあると考えられる。

(3) 主灰からの浮泥となるものの割合

次に、実際に南本牧処分場に埋立している各焼却工場からの主灰2,000cm³を「流動性試験」で用いた容器に入れ、攪拌し、1時間後の浮泥層と廃棄物層の厚さを測定した。さらに1時間後も浮泥と廃棄物層の堆積厚さは変わらない事を確認している。

表-5に、浮泥層の厚さと、廃棄物層の厚さを示す。厚さについては、容器の端2箇所と中央1箇所を測定し、ここでは平均値を示し、主灰中の浮泥層の堆積厚さ比は約30%であることが示された。

以上より、残有水面の浮泥の堆積厚さが増加する要因としては、以下の事が考えられる。

- ・残有水面への埋立により、元にあった浮泥の一部が埋立による外力により移動する。
- ・主灰中にも浮泥となるものが含まれている。

(4) 残有水面の水質の空間分布特性

図-6に水温、DO、pH、ORP、BOD、硫酸イオンの空間分布を示す。冬季（2月）と夏季（9月）の調査結果の概略を以下に示す。

【水温】夏季の調査時には、水温躍層が予想されたが、全層ではほぼ同じ水温であった。図-2に示す水流発生装置による影響も考えられる。

【DO】冬季は表層から2m以深は2mg/lであったが、

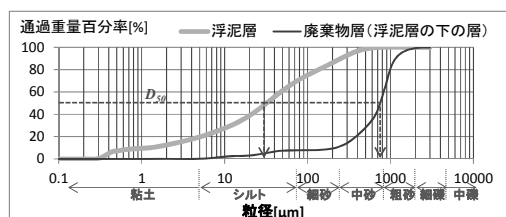


図-5 浮泥層と廃棄物層の粒径加積曲線

表-4 浮泥層と廃棄物層の密度と含水比

	浮泥層	廃棄物層（浮泥の下層）
土粒子密度[g/cm ³]	2.467	2.396
含水比[%]	495	59

表-5 搬入元の4工場の主灰中の浮泥の割合

	浮泥層の厚さ	廃棄物層の厚さ
A工場	1.0cm(21%)	3.7cm(79%)
B工場	1.6cm(38%)	2.6cm(62%)
C工場	1.3cm(28%)	3.3cm(72%)
D工場	1.5cm(30%)	3.5cm(70%)
平均	1.4cm(30%)	3.3cm(70%)

水温が高い夏季は表層から1m以深でほぼ0mg/lであった。

【pH】表層、中層よりも浮泥層がアルカリ側となっており、冬季の方が若干pHが全体的に高かった。前述したように平成26年7月より高密度化工事により、陸地部への埋立量が多くなったため、夏季にpHが低くなっていることも一つの要因として考えられる。

【ORP】夏季も冬季も全層で還元状態であり、夏季の方が強い還元状態であった。

【BOD】夏季、冬季共に表層・中層では、約10～20mg/lであるが、浮泥層に到達すると高くなった。

【硫酸イオン】冬季の方が高い傾向が見られた。

なお、表-6に示す硫酸塩還元菌の活動条件と比較すると、冬季は水温が低いために、活動条件は満たしていないが、その他の項目については浮泥層で活動条件を満た

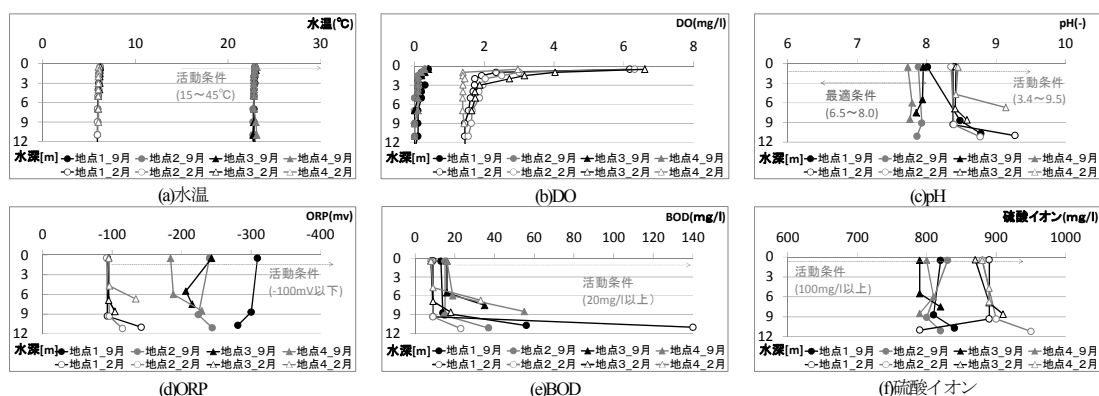


図-6 残有水面の空間分布特性

している。夏季は、水温が高いことから、硫酸塩還元菌の活動条件を浮泥層で満たしていた。ここで、浮泥層の採水はバンドーン採水器で実施したため、前述したように、採水時に浮泥層が巻き上がり、希釈した状態で採取した可能性があるため、実際には、今回測定した浮泥層の結果より水質が悪化した状態で測定される事が考えられる。

(5) 浮泥が排水処理施設へ流入した場合の影響

バックホウで採取した浮泥を対象に、排水処理施設で実施している最初の処理工程（凝集沈殿処理）を模擬した凝集試験を実施した。凝集後の水質測定結果を表-7に示す。浮泥が排水処理施設に流入した場合においても、目標値を満足した。しかしながら、浮泥自体はSS分が多く、排水処理施設からの残有水面への返送汚泥量が増加する事が予想され、埋立容量を圧迫する可能性があることから、排水処理施設への流入防止対策等の検討が必要である。

(6) 溶出速度試験結果

水温2パターン、溶存酸素2パターンで溶出速度試験を実施した結果、唯一変化が出た条件が「高温、飽和状態」で、図-7に示すようにアンモニア性窒素と亜硝酸性窒素であった。その他の項目は、ほぼ変化が見られず、その要因としては、夏季・冬季共に全層が既に嫌気的な状況であったためであると考えられる。

図-7に示すアンモニア性窒素の減少、亜硝酸性窒素の増加は、硝化細菌による影響であると考えられるが、溶出試験20日後から硝化細菌が活性化した原因については、菌の種類や増殖量等の特定が出来ていないため、現段階で考察することは難しい。現在、南本牧処分場では、エアレーションの設置を検討していることから、窒素形態の変化が、今後、現地でも起こる可能性があるため、モニタリングの継続が必要と考えている。

表-6 硫酸塩還元菌の活動条件^{5, 6)}

項目	活動条件	備考
水温	15~45°C	最適条件：30°C付近
pH	3.4~9.5	最適条件：6.5~8.0
ORP	-100mv以下	
栄養源	有機物 (BOD)	硫酸イオンが100mg/Lを超える環境では、BOD濃度が20mg/Lにおいても、他条件が揃えば、硫化物が発生する。
呼吸源	硫酸イオン	

表-7 排水処理工程を模擬した凝集試験結果

項目	目標値 [mg/l]	凝集試験後 [mg/l]
化学的酸素要求量	COD 500	120
浮遊物質	SS 50	10
銅及びその他の化合物	Cu 1.0	0.1
鉄	Fe 3.0	0.07
鉛及びその他の化合物	Pb 0.1	0.02
亜鉛及びその他の化合物	Zn 1.0	0.11

4. まとめ

南本牧処分場に存在する浮泥について、浮泥の堆積厚さ・流動性等の量的な検討結果、水質・凝集・溶出試験等の質的な検討結果と、各々の課題を抽出した。

(1) 水深と浮泥の堆積厚さの関係

平成26年2月、平成27年2月の音波測量結果と浮泥の堆積厚さ（レッド測量と音波測量の差）の相関性が見られ、陸地化が進んだ平成27年2月では、浮泥の堆積厚さが増加した傾向が見られた。

(2) 浮泥の流動性と発生源について

室内で、浮泥の流動性について確認した結果、主灰を埋め立てる際の外力により、浮泥が移動する傾向が見られたが、一部はその場に残った。また、埋立している主灰の中にも浮泥となるものが確認され、その堆積厚さ比は約30%であることを確認した。

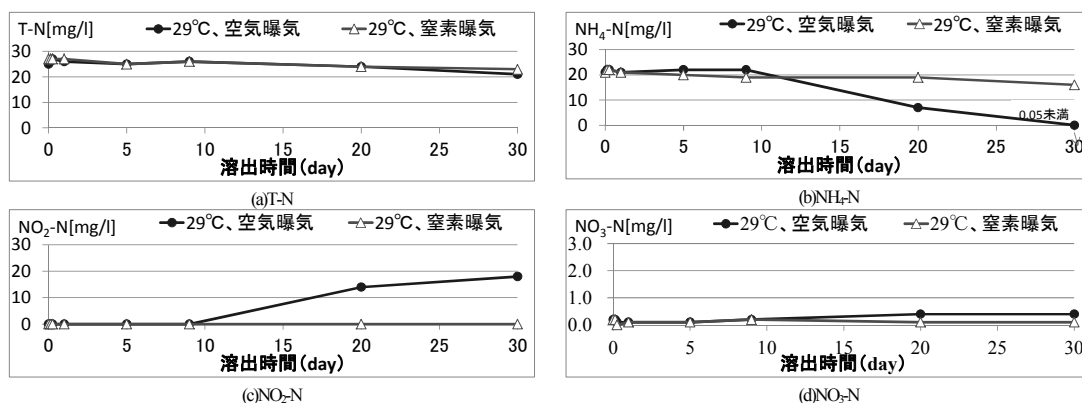


図-7 溶出速度試験結果

(3) 処分場内の水質の空間分布

夏季と冬季に処分場内の水質の空間分布を測定した。夏季には水温躍層が確認されず、夏季、冬季共に、処分場全体が貧酸素、還元状態であった。また、夏季には浮泥層で硫酸塩還元菌の活動条件を満たしていることを確認した。

(4) 浮泥が排水処理施設へ流入した場合の影響

排水処理施設の最初の処理工程を模擬した凝集試験を実施したところ、水質目標値を満足する事を確認した。

(5) 浮泥からの溶出速度試験

浮泥からの溶出速度試験を実施した結果、高温かつ飽和状態で、試験10日後から硝化が確認された。

参考文献

- 1) 古賀大三郎，島岡隆行，崎田省吾：海面処分場における焼却灰の沈降と汚濁成分の溶出特性に関する基礎的研究，廃棄物資源循環学会論文誌，第25巻，pp.68-76，2014
- 2) 前田直也，東原純，島岡隆行，小林哲男，牛越健一，古賀大三郎：海面最終処分場の内水ポンドの水質・浮泥調査事例，地盤工学研究発表会，第37巻，pp.2433-2434，2002.
- 3) 永岡修一，大野博之，八村智明，宮原哲也，松本健二，大渡俊典，飛田靖之，富田祥平：海面埋立を想定した模擬廃棄物が底面粘土層に及ぼす影響評価，日環セ所報，No.38，pp.59-67，2011.
- 4) 国土交通省 HP：
(http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kasen/suishitsu/pdf/ys20.pdf)
- 5) 井上雄三：安定型最終処分場における高濃度硫化水素発生機構の解明ならびにその環境汚染防止対策に関する研究，国立環境研究所研究報告，No.188，2005.
- 6) 林正男，宗清生，宇都宮彬：水質特性と硫化水素発生ポテンシャル，No.36，pp.74-79，2009

(2015.8.28受付)

THE QUALITY AND BEHAVIOR OF FLUID MUD IN THE REMAINING INLAND WATER, THE MINAMIHONMOKU FINAL DISPOSAL SITE

Takushi YOSHIDA, Kazuhiro YAMADA, Satoshi YAMAZAKI,
Yasusuke NAKATA, Eiichi HOSHIYAMA, Toru KAWAI

The MINAMIHONMOKU final disposal site, there is need to understand the residual amount of remaining inland water. We adopt the wave and stalwart survey for measuring method, but these were observed difference. When we checked the difference in the CCD camera, it was confirmed "fluid mud" (easily suspended deposit). As the thickness of fluid mud is correlation with the depth and slope on the approximation increases with the passage time, we considered that fluid mud is influenced by external force under landfill and incineration ash includes fluid mud. On the other hand, we observed nitrification (NH₄-N → NO₂-N) of fluid mud on condition of high water temperature and saturation. Therefore, it is necessary to continue monitoring of water quality.