

泥炭を対象とした電気浸透脱水に関する 基礎的研究

北海道立総合研究機構 エネルギー・環境・地質研究所

○明本 靖広
若杉 郷臣
佐々木 雄真

電気浸透脱水は機械的圧搾とは原理の異なる脱水方法であり、難脱水性状の試料に有効とされている。本研究では、泥炭の含水比低減を目的とした電気浸透脱水技術の検討を行った。小規模での脱水試験の結果、泥炭そのままでは電気浸透脱水を行うことは困難であったものの、カルシウムやカリウムなどのイオンを添加することで、電気浸透脱水による含水比低減が確認された。特に低減効果の大きかったカリウムを用い、中規模で電気浸透脱水試験を行った結果、湿重量に対して0.1%添加で最も多くの脱水液が得られた。本法で得られる脱水液は塩基性で褐色であり、高い炭素濃度ではあるものの、泥炭からの脱水方法としての適用可能性が示された。

キーワード：電気浸透、電気泳動、泥炭、脱水

1. はじめに

北海道に広く存在する泥炭は植物の遺骸が堆積したもので、多くの水分を含むために土木・建設工事において有効利用が困難となっている。高有機質であることから脱水性が悪く、強度を確保して有効利用するためには多量の固化材が必要となるといった課題がある。

電気浸透脱水は、試料に電圧を印加した際に試料中で生じる水の流れ（電気浸透流）を利用した脱水方法である¹⁾。試料に電気をかけると間隙水中のイオンが、それぞれの有する電荷とは反対の極へ電気泳動することになる。例えば試料表面が負電荷の場合、配向した陽イオンは陰極方向へ電気泳動する。このときイオンは水和状態で動き、水分子は自身の粘性によってさらに周囲の水分子を引き連れて動くことになる。その結果、陽極から陰極に向かって水の流れ（電気浸透流）が生じることとなる（図-1）。これまで電気浸透脱水は、下水汚泥や尿汚泥などを対象に検討がされている^{2,3)}。今回、電気浸透脱水を泥炭試料に適用した結果を報告する。

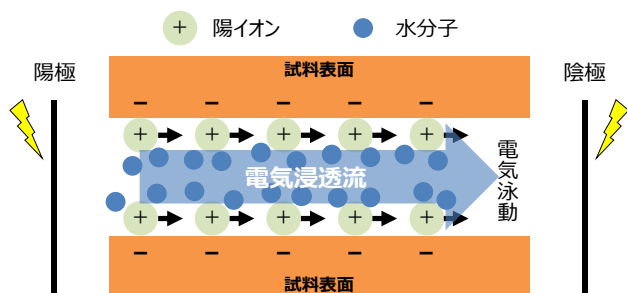


図-1 電気浸透脱水の概念図

2. 実験方法

試料として石狩郡新篠津村および岩見沢市北村地区から採取した泥炭を用いた。電気浸透脱水効果の有無を検証するために、小規模・中規模の二つの装置を用いて試験を行った。電気浸透脱水の試験に適当な市販品は無いため、既報を参考に自作した⁴⁾。小規模装置は3次元CADソフトウェア（DesignSpark Mechanical、アールエスコンポーネンツ株式会社）を用いて設計し、3Dプリンタ（Original Prusa i3 MK3+、Prusa Research）にてPET樹脂を用いて作製した。中規模試験装置はアクリル樹脂製の水槽（PWS6020、アズワン）を用い、電極の支持体は3Dプリンタで作製した。小規模・中規模共通で、電極には網状のチタン白金電極を用いた。直流電源はプログラム多出力電源（PPS303、アズワン）を用い、内蔵されている電流計にて電流値を逐次記録した。

泥炭の成分分析は蛍光X線分析装置（ZSX Primus II、株式会社リガク）、および全自動元素分析装置（vario EL cube、エレメンター・ジャパン株式会社）で行った。脱水液中のイオン濃度はキャピラリー電気泳動システム（Agilent 7100、大塚電子株式会社）、炭素濃度は全有機体炭素計（TOC-V CPH、株式会社島津製作所）、電気伝導率はコンパクト電気伝導率計（LAQUA twin EC-33B、株式会社堀場製作所）を用いて測定した。添加剤として、炭酸カルシウムおよび炭酸カリウム（特級、関東化学株式会社）を用いた。

試料の含水比は、105℃で24時間乾燥後の重量減少分を水分とみなし、算出した。

3. 結果と考察

(1) 小規模装置における脱水試験（新篠津泥炭）

装置の全体と模式図を図-2に示す。電極は試料を挟み込むように配置し、上を陽極、下を陰極とすることで脱水液は装置下部の円錐部を通して得られることになる。上部と下部のパーツ接続部にはOリングとろ紙（5種C）を挟み、水分と試料の流出を防止した。

先行研究を参考に試料の厚さを2 cm、印加電圧を25 Vとした⁴⁾。新篠津で採取した泥炭を装置に充填し、16時間の脱水試験後の含水比変化を図-3に示す。初期含水比は573%であり、16時間後も変化が見られず、電流値も極めて低い値であった。電気浸透脱水はイオンの動きが起点となるため、電気泳動可能なイオン成分が必要となる。しかし、電流値が極めて低かったことから新篠津泥炭にはイオン成分の添加が必要となると推測される。

そこで、湿重量に対して1.0%の割合で炭酸カルシウムまたは炭酸カリウムを添加後、よくかきまぜた泥炭試料を調製し、同条件で脱水試験を行った。その結果、泥炭の含水比は炭酸カルシウム添加時で約110%、炭酸カリウム添加時で約300%低下した（図-3a）。これは炭酸カルシウムよりも炭酸カリウムの方が高い溶解度を有し、多くのイオンを供給できたためと考えられる。

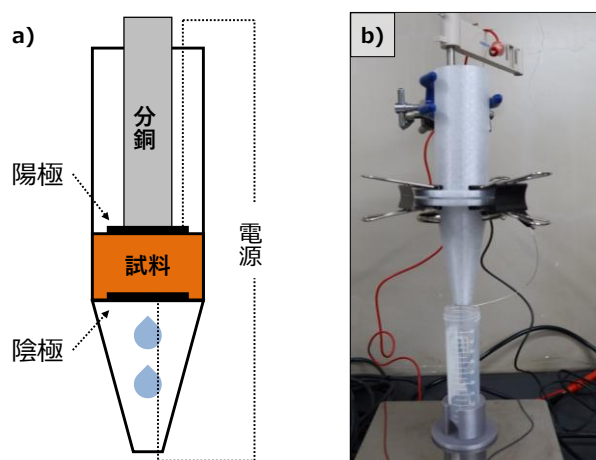


図-2 a) 小規模装置の概念図と、b) 全体図

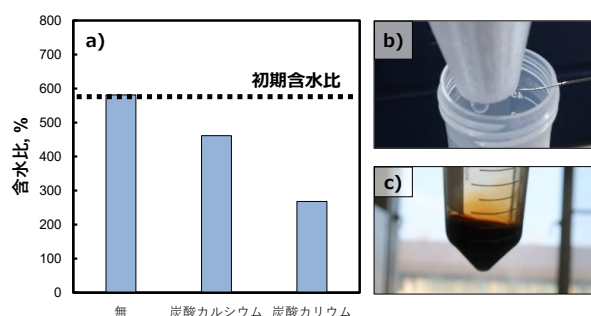


図-3 a) 16時間の脱水試験前後における含水比変化、b) 炭酸カルシウム添加時の脱水液、c) 炭酸カリウム添加時の脱水液（25 V、16時間、添加剤1%）

図-3bおよびcより、炭酸カルシウム添加時に得られた脱水液は無色透明であったものの、炭酸カリウム添加時には褐色の溶液となった。炭酸カルシウム添加後の試料はpH 10、炭酸カリウム添加後はpH 11であり、特に炭酸カリウム添加によって試料のpHが上がったことで、泥炭中の腐植物質が抽出されたためと考えられる。一般的に腐植物質は負電荷を有するため、電気泳動によって陽極側へ移動するが、分子量が大きく移動速度が遅いため、電気浸透流に運ばれて陰極側に集積することが報告されている⁹⁾。本研究における炭酸カリウム添加時の脱水液の着色は、先行研究と同様の挙動を示した腐植物質によるものと考えられる。

(2) 中規模装置における脱水試験（北村泥炭）

小規模試験の結果を踏まえ、添加剤として炭酸カリウムを用い、約3 kgの試料を用いた中規模装置での試験を行った（図-4）。試料量の都合上、以降は岩見沢市北村地区の泥炭を用いた。1:5水抽出における電気伝導度は新篠津泥炭が0.79 mS/cm、北村泥炭が0.99 mS/cmであり、地理的にも近いことから、類似した性状と考えられる。実際の工事現場を考えると試料の上下に電極を配置することは現実的ではないため、水平方向に電極を配置した条件で試験を行った。小規模試験においては、2 cmの試料に25 Vの電圧と高い電位勾配（12.5 V/cm）であったが、試料量が多い場合に同様の電位勾配を設けることは、電源設備などの点で容易ではない。汚染土壌修復においては、1 V/cmの電位勾配を設けることが多いため⁶⁾、電極間距離30 cm（試料高さ10 cm）に30 Vの電圧を印加した。

脱水試験後、陽極側から2 cmずつ試料を採取し、乾燥させて含水比を算出した。また、陽極より外側を0番、陰極より外側を16番としてそれぞれ採取した。

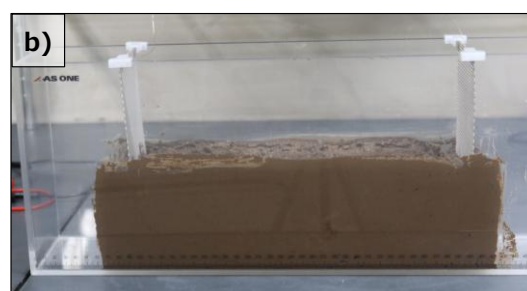
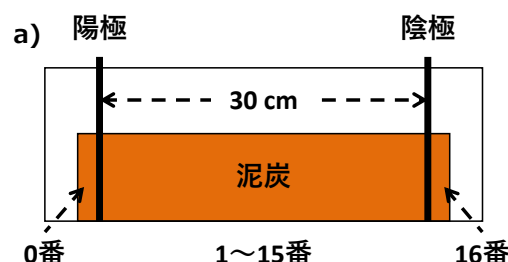


図-4 a) 中規模試験の概念図と、b) 全体図

中規模での脱水試験後の性状を図-5に示す。図-5aより、液体が陰極外側で観測されているものの、陽極外側では見られない。このことから、泥炭に含まれる水分がしみ出して広がったわけではないことがわかる。図-5bで示すように、見た目での性状変化はみられないが、図-5cより、陽極と試料の間に僅かな空間が形成されている。これは泥炭の含水比低下によって試料の収縮が起こり、電極との隙間が生じたと考えられる。図-5dより、陰極側では褐色の液体（脱水液）が得られた。

添加する炭酸カリウム量を変化させて電気浸透脱水試験を行った際の泥炭の含水比変化を図-6に示す。炭酸カリウム添加量1.0%と0.5%とでは含水比の分布、減少率に大きな違いは見られなかった。中規模試験で用いた北村泥炭は350～370%の含水比であり、陽極に一番近い1番において100～150%の低下が観測された。陽極から離れるにしたがって含水比の低減効果は減少し、陰極近傍で再び含水比が低下する傾向が見られた。この傾向は0.1%添加で顕著に観測された。0番と1番の間に陽極が配置されており、0番は電場の外となるが、約50%の含水比低下が見られた。陽極近傍の水分の移動に伴って、直接電場の影響を受けていない範囲にも脱水効果が及ぶことが示唆された（同時時間で自然乾燥を行った場合は2～5%の含水比低下）。陰極に向けて水分が移動するため、最も陰極に近い15番および、電場の外の16番は含水比が上昇する結果となった。

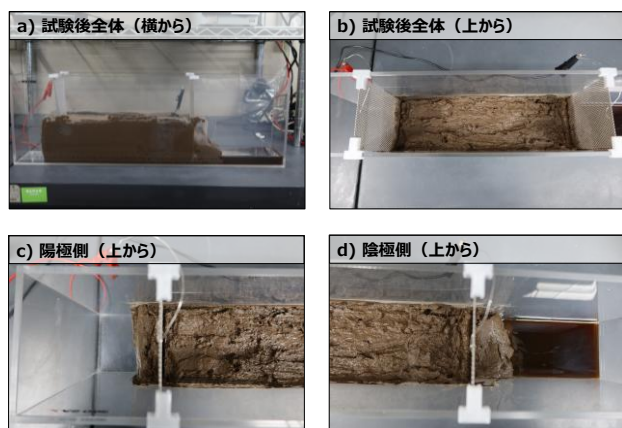


図-5 炭酸カリウム0.1%添加での電気浸透脱水試験

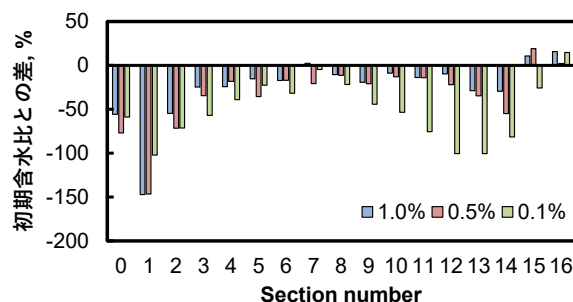


図-6 異なる炭酸カリウム添加量における含水比変化

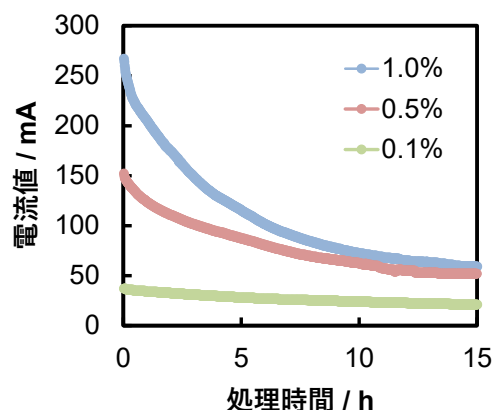


図-7 異なる炭酸カリウム添加量における電流値変化

図-7に電流値変化を示す。1.0%・0.5%添加では、処理時間が12時間を過ぎたあたりから一定となっている。無機系の泥状廃棄物を対象とした電気浸透脱水試験において、電流値の減少が緩やかになったあたりから脱水量が減少することが確認されている⁷⁾。そのため、概ね12時間で事実上電気浸透流は停止していたと推測される。一方、0.1%添加では徐々に電流値は低下するものの概ね一定の値を示した。電気浸透脱水においては、試料内の電場強度が一樣であることが望ましい¹⁾。添加量の多い1.0%および0.5%の試験では、試料中の移動可能なイオンが多く電流値も大きいために急激な脱水が陽極近傍で生じ、脱水に伴う試料の収縮で電極との接触面積が減少した結果、早期に電流値の減少が観測されたと推測される。

表-1に得られた脱水液の性状を示す。脱水液量は水の密度を用いて重量から体積へ換算した。脱水液量は0.1%添加時が最も多い結果となった。電気浸透脱水においては印加する電圧の都合上、水の電気分解を伴うため、陽極付近のpHは低下し、陰極付近のpHは上昇する。脱水液には陽イオンとして、ナトリウム、カルシウム、マグネシウムも僅かに観測されたが、添加しているカリウムが最も高濃度に検出された。このことから、主としてカリウムが電気浸透脱水に寄与していると考えられる。また、図-5dに示すように脱水液には着色が見られ、検出された炭素のうち8～9割は有機体であった。3(1)で述べたように、添加した炭酸カリウムによるpHの上昇に伴って泥炭試料から抽出された腐植物質が電気浸透流によって運ばれた結果と考えられる。

表-1 電気浸透脱水液の性状

炭酸カリウム添加量	1.0%	0.5%	0.1%
脱水液量/mL	37.4	101.9	226.5
pH	13.0	12.6	10.9
電気伝導度/mS cm ⁻¹	31.1	16.1	2.1
カリウム濃度/mg L ⁻¹	9800	4300	550
有機体炭素濃度/mg L ⁻¹	6230	3370	354
無機体炭素濃度/mg L ⁻¹	536	340	85

最も脱水流量が多かった炭酸カリウムを0.1%添加した試験における脱水試験後の泥炭中の成分分布を図-8に示す。北村泥炭にはけい素やアルミニウムなどの無機分が含まれていたため、炭素量としては少ない傾向であった。土壌由来と考えられるけい素やアルミニウムは、脱水試験後の試料中で大きな濃度の変化は見られなかった。また、炭素も同様に大きな濃度変化は見られなかった。上述の通り、腐植物質が抽出され脱水液に移行していると考えられるが、全体濃度への影響は小さかったと考えられる。添加剤として用いたカリウムは陽極付近の濃度が減少し、陰極側へ向かって濃度が上昇する結果となった。このことからカリウムが電気浸透脱水の起点となっていると考えられる。

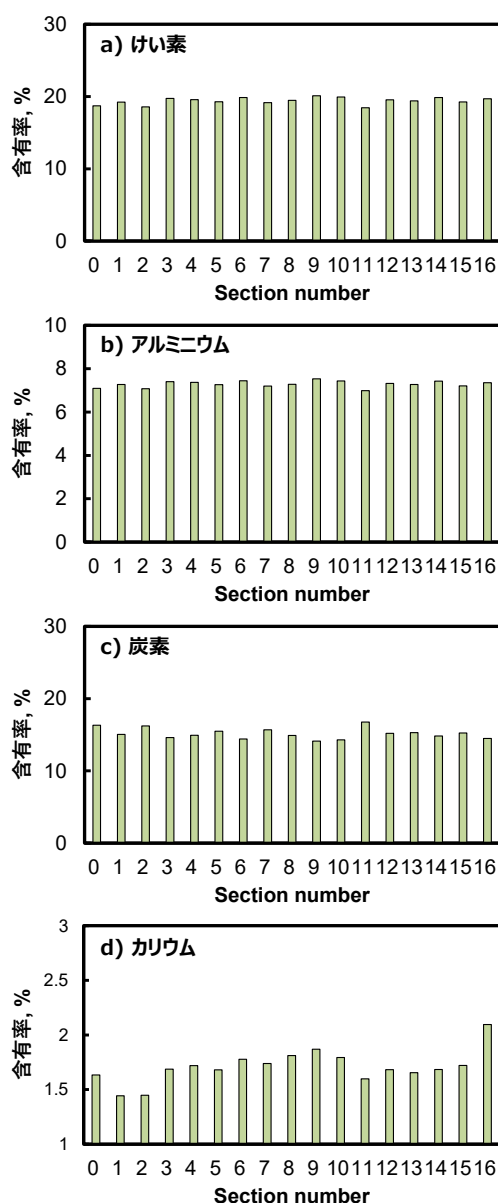


図-8 電気浸透脱水試験後の泥炭中の成分分布
(0.1%炭酸カリウム添加)

4. まとめ

泥炭を対象とした電気浸透脱水試験を行い、その効果について検証を行った。

小規模試験装置での評価によって、泥炭そのままでは電気浸透流を発生させることが困難で、イオンを供給するために添加剤が必要となることがわかった。添加剤として炭酸カルシウムおよび炭酸カリウムを検討した結果、炭酸カリウムの方が高効率であることが確認された。また、この小規模試験装置は、電気浸透脱水効果を簡易的に評価する用途において有効であると考えられる。

中規模試験装置を用い、添加する炭酸カリウム量を変化させた試験の結果、0.1%添加で最も多くの脱水液が得られ、pH・炭素濃度も他の二条件よりは低い値となることがわかった。試験後の泥炭試料の成分分析の結果、主成分であるけい素やアルミニウム、炭素の分布は大きく変わらないものの、カリウムが陰極方向へ移動していることが観測された。

泥炭には電気浸透流を生じさせるための添加剤が必要となるものの、最も陽極に近い区画で200~270%の含水比まで低減が可能であり、電気浸透脱水の適用可能性が示された。

謝辞：本研究の実施にあたり、国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地基礎技術研究グループ 寒地地盤チーム 佐藤厚子博士に泥炭試料の採取・提供などにご協力いただきました。また、本研究で使用した蛍光X線分析装置、全自動元素分析装置は公益財団法人JKAの補助を受けて整備されました。ここに記して御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 吉田裕志：電気浸透脱水技術－基本から活用まで－、東京図書出版、p103、2021
- 2) 田中健、新井利孝：電気浸透原理を応用した脱水システム、電気学会論文誌D 107(7)、pp.852-859、1987
- 3) 日立造船株式会社：電気浸透式汚泥脱水機による汚泥助燃剤化、JEFMA No.65、pp.56-58、2017
- 4) 鈴木康夫、今野政憲、佐藤由希子、宍戸郁郎：電気浸透法による魚肉の連続脱水装置の開発、化学工学論文集 16(6)、pp.1133-1137、1990
- 5) Toko Iwamura, Yasuhiro Akemoto, Shunitz Tanaka : Enhancement effect of humic acid on removal of lead from soil by electrokinetic process, Analytical Sciences 36(5), pp.627-630, 2020
- 6) Yasuhiro Akemoto, Rudy Syah Putra, Shunitz Tanaka : Design of materials and technologies for environmental remediation -Looking for novel concepts for remediation-, Springer, pp.147-197, 2023
- 7) 明本靖店：泥状廃棄物から水を抜く～電気浸透脱水技術～、エネルギー・環境・地質研究所 成果発表会資料集、p38、2025