

ベントナイト泥水の比誘電率特性に関する現象理解と一考察

早稲田大学 学生会員 ○國府田隆 正会員 小峯秀雄 王海龍
フェロー会員 後藤茂 学生会員 吉川絵麻

1. はじめに

福島第一原子力発電所の事故により発生した燃料デブリの取り出しを行うにあたり、放射線遮蔽や放射性物質の拡散防止に向けた技術が求められている。筆者らは燃料デブリ取り出しに向けた技術提案としてベントナイト、水およびバライトから作製され、放射線遮蔽性能と汚染水の遮水性能の両方を有し充填施工可能な流動性を持った超重泥水の開発を行っている^{1), 2)}。超重泥水を福島第一原子力発電所の廃止措置に用いる場合、長期間の使用による材料分離の可能性や、作業が困難な放射線環境下での使用が想定されるため、超重泥水の性状を経時的かつ非破壊に把握する技術が必要となる。このような場合、電気探査をはじめとした物理探査技術が有効であると考えられるため、筆者は物理探査技術で用いられる物理量の一つの比誘電率に着目した。本論文では超重泥水において比誘電率に大きな影響を与えると考えられるベントナイト泥水に着目し、時間変化やベントナイト濃度の変化、ベントナイトの種類が泥水の比誘電率に与える影響を評価し、ベントナイト泥水の比誘電率特性に関する現象理解を試みた。

2. 試験方法

本研究ではベントナイト泥水におけるベントナイトの種類や添加量が比誘電率に及ぼす影響を比較するため、3種類のベントナイトを使用した。使用したベントナイトはベントナイト SC(ホージュン製・スーパークレイ)、ベントナイト KV1(クミネ工業製・クニゲル V1)、およびベントナイト KB(クミネ工業製・クニボンド)であり、これらの基本的性質は表1に示す。なお、モンモリロナイト含有率は純モンモリロナイトのメチレンブルー吸着量 140 mmol/100 g を基準とした。ベントナイト SC とベントナイト KV1 を用いたベントナイト泥水作製の際は、水 100 g に対してベントナイトの添加量を 7, 10, 12 および 15 g として作製し、ベントナイト KB を用いた泥水では 60 および 80 g を添加した。Na 型ベントナイトと Ca 型ベントナイトで異なる添加量としたのは、泥水状態を保ちつつ試験を行うためである。測定の際は分散剤であるピロリン酸ナトリウム十水和物を水 100g あたり 0.2g 添加し、材料分離の発生を防いだ。比誘電率の測定は LCR メーター(HIOKI 製 IM3536)を用いて行った。試験の様子を図1に示す。測定の際は図2に示すアクリル容器に試料を充填後、水の蒸発を防ぐためアクリル容器をデシケーターに格納した。試験条件は表2に示す³⁾。なお測定開始時刻はベントナイトの攪拌開始から 30 分経過後とし、測定間隔は 1 分毎とした。

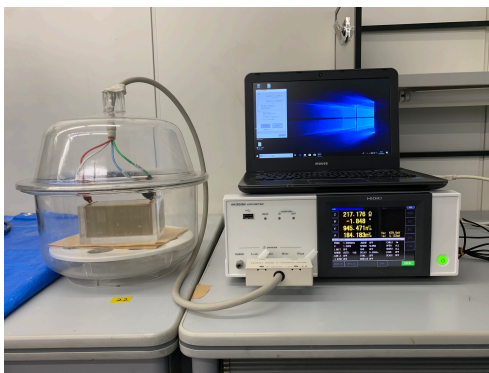


図1 測定の様子

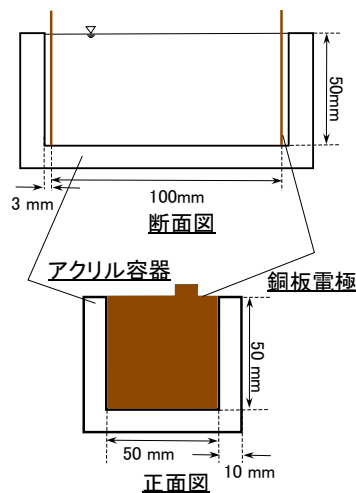


図2 アクリル容器の寸法

表1 試料の基本的性質

ベントナイトの呼称	ベントナイト SC	ベントナイト KV1	ベントナイト KB
タイプ	Na 型	Na 型	Ca 型
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.67	2.81	2.63
液性限界 W_L (%)	604.0	476.9	119.9
塑性限界 W_P (%)	41.7	29.2	52.2
塑性指数 I_P	562.3	447.7	67.7
モンモリロナイト含有率 (%)	58	48	72

表2 試験条件

測定周波数 (測定可能周波数 4 Hz~8 MHz)	1kHz
測定電圧 (測定可能電圧 0.01V~5 V)	1V
回路モデル	等価並列回路
室温	25°C

キーワード 泥水, 比誘電率, ベントナイト, 物理探査

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学 地盤工学研究室 TEL03-5286-2940

3. 3種類のベントナイト泥水を用いた比誘電率測定の実験結果と現象理解に関する考察

図3はベントナイト SC とベントナイト KV1 について、図5はベントナイト KB について、比誘電率を3000分間継続的に測定した結果である。また図4は図3の測定開始後300分間に着目した結果である。ベントナイト SC およびベントナイト KV1 の比誘電率は測定開始後120分間程度低下したが、その後はほぼ収束した。ただし、急速な比誘電率変化が収束したのちも時間経過とともに微増した。ベントナイト KB の比誘電率は、測定開始後120分間程度で急速に比誘電率が低下し、その後は時間経過と共に微減した。

ベントナイト泥水は比誘電率が $10^4 \sim 10^5$ 程度の高い値を示したが、これは外部電圧を付与したことで拡散二重層内に電位差が生じ、分極と同様の現象が発生したためと考えられる。また測定開始直後に比誘電率が低下した原因はカードハウス構造の形成に起因すると考えられる。この構造はベントナイトを水中で分散させた際に負電荷を帯びた層面と正電荷を帯びた端面が引き合うことで形成される立体的な会合構造を指す。図6に示した分散状態はモンモリロナイトの単位層が水中で分散して自由に動ける状態であり、電場の向きに応じてモンモリロナイトの単位層の向きが揃うため高い比誘電率が発現する。会合構造の形成過程では電気的結合によってモンモリロナイトの単位層の可動範囲が制限されるため比誘電率が低い状態へ変化すると解釈できる。その後は外部電圧による影響とカードハウス構造による影響の大小によって比誘電率の変化が決定されるため、経過時間によって僅かに値が上下したと考えられる。このことからベントナイト泥水において比誘電率はカードハウス構造の形成や分散凝集状態の把握に有効である可能性が示唆された。

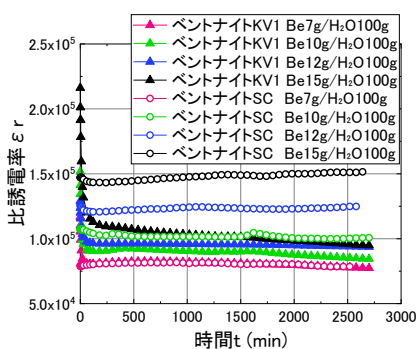


図3 ベントナイト KV1 とベントナイト SC の比誘電率の比較

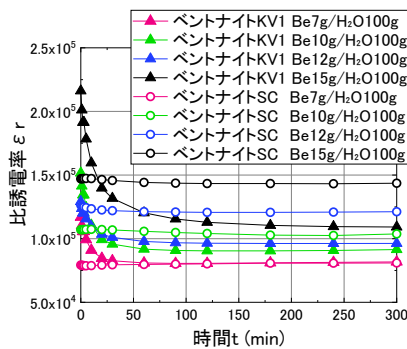


図4 測定開始後300分間のベントナイト SC とベントナイト KV1 の比誘電率の比較

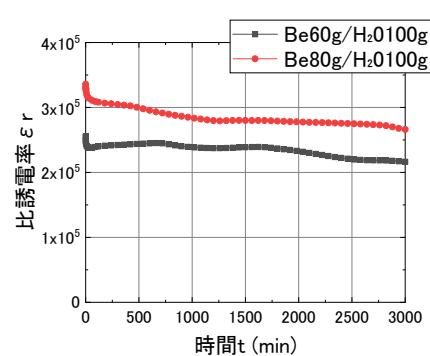


図5 ベントナイト KB の比誘電率の時間変化

4. まとめ

ベントナイト泥水の比誘電率は拡散二重層内の電位差やカードハウス構造の形成過程が影響すると考えられるため、比誘電率はベントナイト泥水の会合構造の形成に関して感度が高いことが示唆された。

【謝辞】本研究は文科省「英知を結集した原子力科学技術・人材育成水深事業廃止措置研究・人材育成等強化プログラム」採択課題「福島第一原子力発電所構内環境評価・デブリ取出しから廃炉までを想定した地盤工学的新技術開発と人材育成プログラム」JPMX 15H1566491 の支援により実施しました。各位に感謝申し上げます。【参考文献】1) 氏家伸介, 長江泰史, 成島誠一, 新井靖典, 稲元祐二, 水野正之, 佐古田又規, 齋藤祐磨, 小峯秀雄: 変形追従型放射線遮蔽材の開発, 第11回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, p.471-478, 2015. 2) 吉川絵麻ら: 土質系材料の放射線遮蔽性能の定量評価, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.73, No.4, pp.342-354, 2017. 3) 小峯秀雄: 電気比抵抗による薬液注入改良部の充填率の評価方法, 土木学会論文集, pp. 153-162, 1993.3.

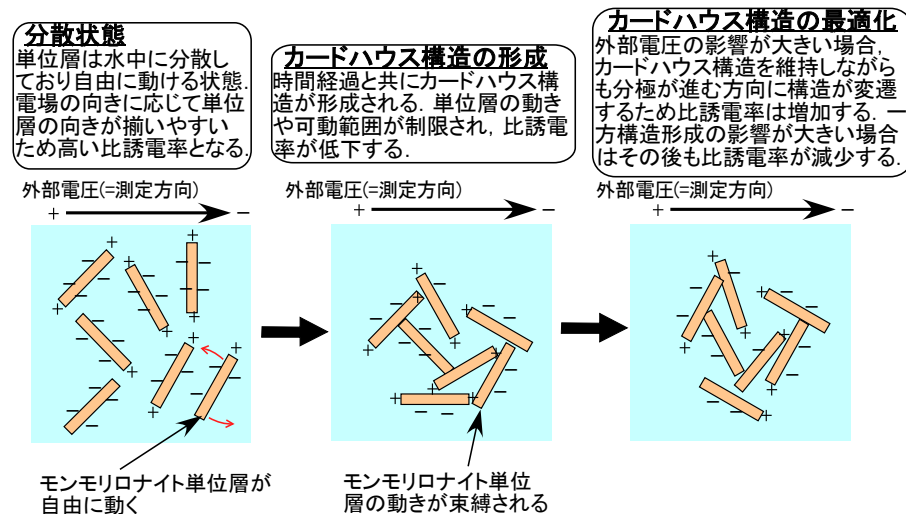


図6 比誘電率変化の要因