

廃炉事業に資する放射線遮蔽・遮水機能を有する

超重泥水・土質系材料の開発

研究代表者 小峯 秀雄
(創造理工学部 社会環境工学科 教授)

1. 研究課題

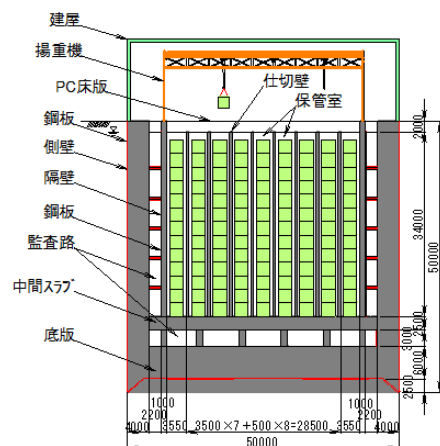
福島第一原子力発電所の廃止措置を、実効性の高い技術に基づき実現することを目指して、高放射線環境等原子力特有の条件を地盤工学に融合し、原子力発電所の現状から廃炉までの時間軸を考慮して、「土・地盤の放射線遮蔽性能を活用したデブリ取出し補助技術と掘削技術の適用評価、それに基づく実効性の高い数種類のデブリ処理メニューの提示」を行う。

また、これらの技術を体系化し、原子力技術者と協働できる新しい地盤工学技術者の育成プログラム「廃炉地盤工学」の一単位を提供することを目的とする。なお、本研究は、文部科学省「国家課題対応型研究開発推進事業」『廃止措置研究・人材育成等強化プログラム』に採択された「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术開発と人材育成プログラム」(代表：公益社団法人 地盤工学会)の再委託研究の一環として進める。

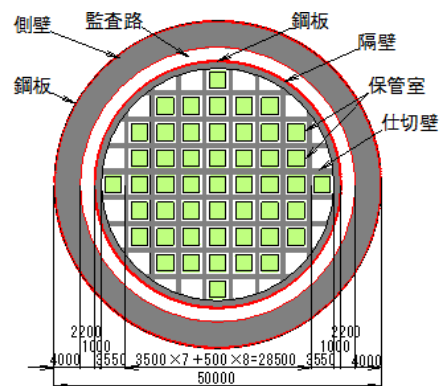
2. 主な研究成果

原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF)が発表した「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン2019」において、【燃料デブリや固体廃棄物の「廃棄物対策」の重要性】が強調されている。本研究では、当該課題解決を目指して、土木工学・地盤工学の観点から、超重泥水とニューマチックケーソン工法を併用した燃料デブリ等の保管技術の提案を行っている。本年度は、中間保管施設の試設計と燃料デブリ収納缶の保管容量の可能性の定量評価、中間保管施設中で利用する超重泥水の状態モニタリング技術と回収可能性の定量評価、超重泥水からの燃料デブリ収納缶の引き抜き可能性を数多くの実験を通じて調査した。得られた成果の具体的な内容は、以下の通りである。

- (1) 中間保管施設の試設計と保管容量の可能性の定量評価(図1~4, 表1参照)
- (2) 電気比抵抗を活用した超重泥水の状態モニタリング技術と回収可能性の定量評価(図5~7参照)
- (3) 超重泥水からの燃料デブリ収納缶の引き抜き可能性評価(図8, 9参照)



縦断面



平断面

図1 ニューマチックケーソンを活用した燃料デブリ等の中間保管施設の概念

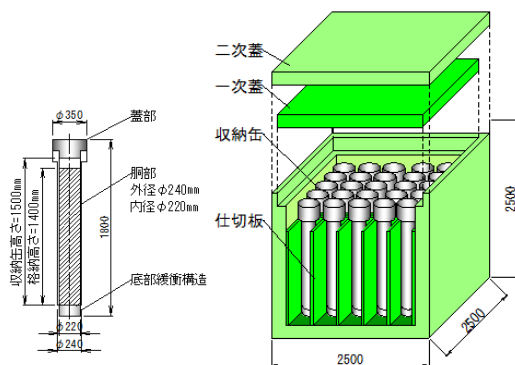


図2 燃料デブリ収納缶と収納缶格納容器

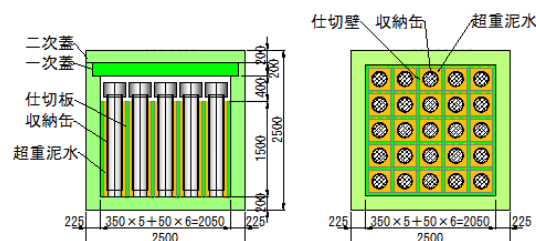


図3 収納缶格納容器断面図

記号	内容	単位	数量
V_{can}	収納缶1本当たりの収納容量	m ³ /本	0.053
n_{can}	収納缶格納容器1体に格納する収納缶数	本	25
n_{room}	保管室の数	室	49
s	収納缶格納容器設置段数	段	13
$V_{storage}$	中間保管施設1基当たりの燃料デブリ保管可能容量	m ³	844

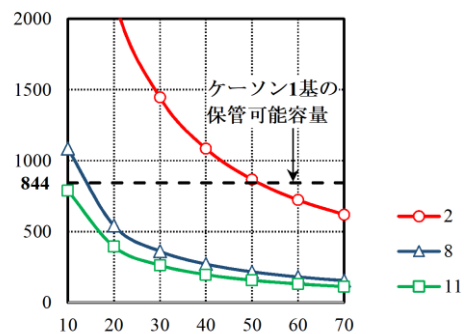


図4 燃料デブリの密度・充填率と保管必要容量の関係

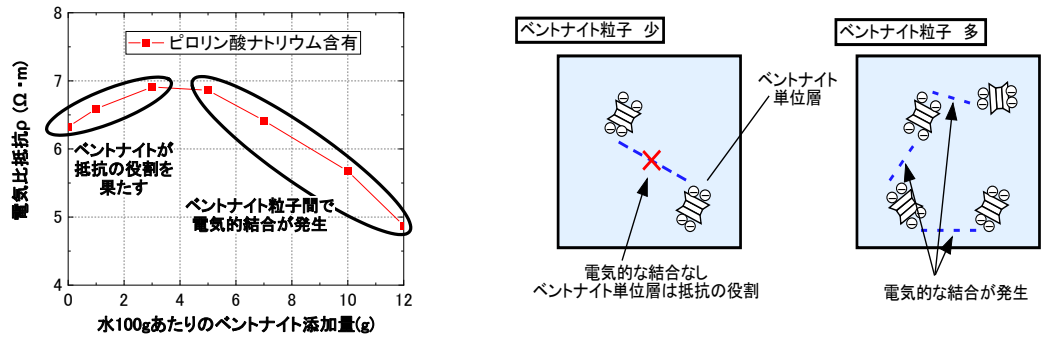


図5 電気比抵抗による超重泥水の状態モニタリングの可能性

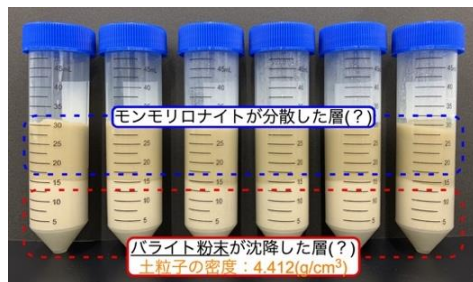


図6 遠心分離した超重泥水(比重1.8)
(3000 rpm, 10, 20, 30, 60, 120, 180 min(左から))

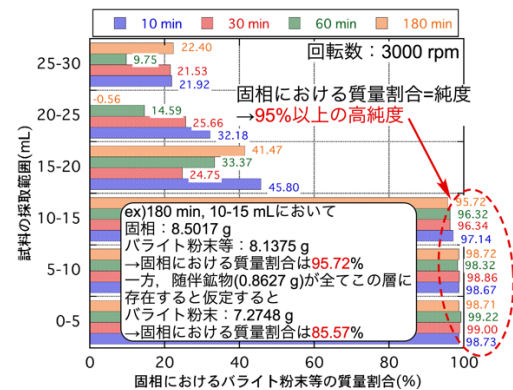


図7 遠心分離した超重泥水(比重1.8)の各層の固相におけるバライト粉末等の質量割合

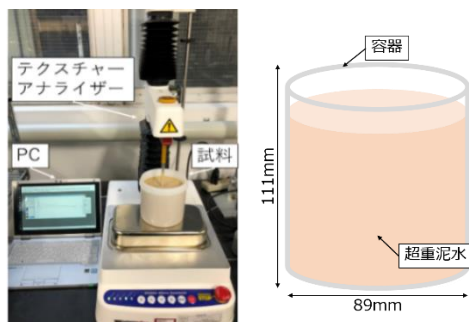


図8 テクスチャーアナライザーによる引き抜き抵抗実験の概要

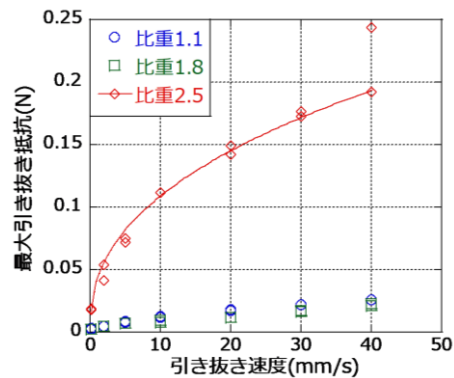


図9 超重泥水の引き抜き時の速度と最大抵抗値の関係(比重3種)

3. 共同研究者

後藤 茂 (理工学研究所・招聘研究員)

王 海龍 (国際理工学センター・准教授)

渡邊保貴 (理工学研究所・招聘研究員／電力中央研究所)

氏家伸介 (創造理工学研究科 博士後期課程3年)

伊藤大知 (理工学術院・創造理工学部 社会環境工学科・助手／創造理工学研究科 博士後

期課程 3 年)

貞松暁大 (JR 西日本 元・創造理工学研究科 博士前期課程 2 年)

関本貴斗 (大成建設 元・創造理工学研究科 博士前期課程 2 年)

國府田隆 (創造理工学研究科 博士前期課程 2 年)

原崎 智 (創造理工学研究科 博士前期課程 2 年)

根本大志 (創造理工学研究科 博士前期課程 1 年)

木藤真凜 (熊谷組, 元・創造理工学部 社会環境工学科 4 年)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- (1) Hailong Wang, Hideo Komine, Takahiro Gotoh, “A swelling pressure cell for X-ray diffraction test”, *Géotechnique* 1-12, <https://doi.org/10.1680/jgeot.20.00005>, 2021 年 3 月
- (2) 高畑 修, 原田拓也, 保高徹生, 熊田正次郎, 安藤淳也, 小峯秀雄, 「土壌洗浄処理を施した放射性物質含有土の社会的受容性評価と検証」, 土木学会論文集 G (環境), 77(1), 7-21 2021 年 2 月
- (3) 王海龍, 小峯秀雄, 伊藤大知, 後藤隆弘, 「締固めたベントナイトの膨潤圧特性の究明に向けた X 線回折を用いた実験手法の開発」, 地盤工学会誌, 69(1), 48 – 51, 2021 年 1 月
- (4) 伊藤大知, 小峯秀雄, 「ベントナイト原鉱石の測定結果に基づく膨潤特性における膠結作用の影響評価」, 土木学会論文集 C (地圏工学), 76(3), 295 – 305, 2020 年 9 月
- (5) Hailong Wang,, Toshimichi Shibue, Hideo Komine, “Hydration and dehydration of water of bentonite: a solid-state ¹H magic-angle spinning NMR study”, *Chemical Physics*, 536 2020 年 8 月

4.2 総説・著書

- (1) 小峯秀雄, 「2011 年 3 月 11 日震災から「廃炉地盤工学」への道のりとこれから」, 地盤工学会誌 (総説論文), 69(3), 1-6, 2021 年 3 月
- (2) 小峯秀雄, 「「廃炉地盤工学」の実践と最新の技術開発動向」, 日本原子力学会誌, 63(39), 209-211, 2021 年 3 月

4.3 招待講演

- (1) 小峯秀雄, 「内科医的土木技術者の育成」, 基礎地盤コンサルタンツ株式会社, 令和 2 年度技術戦略展開会議, 6 月 25 日
- (2) 小峯秀雄, 「内科医的土木技術者の育成」, 東京電力株式会社土木・建築統括室主催講演会, 9 月 28 日

4.4 受賞・表彰

- (1) 伊藤大地: 土木学会第 75 回年次学術講演会優秀論文賞
- (2) 市川雄太: 土木学会第 75 回年次学術講演会優秀論文賞
- (3) 内田周作: 土木学会第 75 回年次学術講演会優秀論文賞
- (4) 関本貴斗: 土木学会第 75 回年次学術講演会優秀論文賞
- (5) 山田七星: 地盤工学会関東支部発表会 GeoKanto2020 優秀発表者賞

4.5 学会および社会的活動

- (1) 小峯秀雄, 王海龍: ベントナイト系緩衝材・埋戻し材の膨潤特性理論評価式・透水係数理論評価式におけるモンモリロナイト結晶層間の初期値に関する分析的検証, 第 55 回地盤工学研究発表会, 2020.
- (2) 吉川絵麻, 渡邊保貴, 小峯秀雄ら: ベントナイト泥水に対する透水圧の段階加圧に伴う遮水性の変化およびそのメカニズムに関する一考察, 第 55 回地盤工学研究発表会, 2020.
- (3) 宮路将人, 小峯秀雄, 後藤茂ら: RI 密度走査を利用したバライト粉末による遮蔽体形成過程における鉛直方向の湿潤密度分布変化に関する考察, 第 55 回地盤工学研究発表会, 2020.
- (4) 國府田隆, 小峯秀雄, 後藤茂ら: ベントナイト泥水の比誘電率特性と状態評価の可能性～福島第一原子力発電所の廃止措置に向けた超重泥水の活用に向けて～, 第 55 回地盤工学研究発表会, 2020.
- (5) 原崎智, 小峯秀雄, 後藤茂ら: メチレンブルー吸着量試験を援用した泥水中のベントナイト量評価の試み, 第 55 回地盤工学研究発表会, 2020.
- (6) 関本貴斗, 小峯秀雄, 後藤茂ら: バライト砕石と粘性土の複数層構造による覆土の放射線遮蔽性能の評価, 第 55 回地盤工学研究発表会, 2020.
- (7) 吉川絵麻, 小峯秀雄, 後藤茂, 渡邊保貴ら: 側方圧および間隙水圧の測定による重泥水内部の液体的・固体的挙動の評価, 土木学会第 75 回年次学術講演会, 2020.
- (8) 宮路将人, 小峯秀雄, 後藤茂ら: 三軸圧縮試験による締固めたバライト粉末の強度変形特性の定量評価, 土木学会第 75 回年次学術講演会, 2020.
- (9) 関本貴斗, 小峯秀雄, 後藤茂ら: 複数層構造 供試体 の配列 変化 による放射線遮蔽性能の評価, 土木学会第 75 回年次学術講演会, 2020.
- (10) 國府田隆, 小峯秀雄, 王海龍: 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, 土木学会第 75 回年次学術講演会, 2020.
- (11) 原崎智, 吉川絵麻, 小峯秀雄, 後藤茂ら: 泥水中のベントナイト回収における凝集剤の効果の予備的検討, 土木学会第 75 回年次学術講演会, 2020.
- (12) 根本大志, 小峯秀雄, 王海龍, 伊藤大知, 國府田隆, 原崎智: 燃料デブリの中間保管を想定した重泥水中の引き抜き抵抗の評価, 第 17 回地盤工学会関東支部発表会, 材料 2-9, 2020.
- (13) 木藤真凜, 小峯秀雄, 王海龍, 原崎智, 國府田隆, 伊藤大知: 泥水中のベントナイトの分離・回収における Electro Kinetics の適用性の評価, 第 17 回地盤工学会関東支部発表会, 環境 2-3, 2020.
- (14) 山田七星, 伊藤大知, 小峯秀雄, Hailong WANG, Xiaofei YAN: メスシリンダー法によるベントナイト系材料の水分拡散特性評価に向けた排気条件, 水質および交換性陽イオンの影響に関する考察, 第 17 回地盤工学会関東支部発表会, 環境 1-8, 2020.
- (15) 斎藤七菜子, 伊藤大知, 王海龍, 小峯秀雄, 山本有雅, 金田舜: カラム試験を利用した珪砂のベントナイト粒子濾過特性に関する実験的研究, 第 17 回地盤工学会関東支部発表会, 環境 2-4, 2020.

5. 研究活動の課題と展望

福島第一原子力発電所の廃止措置に実効的に寄与するため, 土木工学・地盤工学分野の新

学問体系「廃炉地盤工学」の下，研究代表者の研究チームは，新たに開発した遮水性能と放射線遮蔽性能の両方を保有する「超重泥水」等の高機能土質系材料の開発を鋭意行っている．このような研究開発実績を活用し，次年度以降は，JAEA が提示している「基礎・基盤研究の全体マップ」の中央に位置づけられクローズアップされている燃料デブリ等の「廃棄物対策」の課題解決を第一の目標とする．具体的には，開発してきた超重泥水をはじめとする高機能土質系材料を，燃料デブリや高放射性の廃棄物の保管に活用する際に要求される遮水性能，放射線遮蔽性能，有効な放熱性を達成するための配合や仕様を設計する方法の構築をより一層進める．そして，仕様設計される高機能土質系材料と実際の工事現場での実績の高い施工技术，特に，地下等に燃料デブリ収納缶を保管できる大規模空間の建設に高い優位性のあるニューマチックケーソンと組み合わせて，斬新かつ施工可能性の高い“燃料デブリと高放射性廃棄物の保管技術”の基本概念および基本設計とその方法を具体的に提案する．