

平成 2 7 年度

文部科学省 国家課題対応型研究開発推進事業
英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業

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
地盤工学の新技术開発と人材育成プログラム

成果報告書

平成 2 8 年 3 月
公益社団法人 地盤工学会

本報告書は、文部科学省の英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業による委託業務として、公益社団法人 地盤工学会が実施した平成27年度「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（契約書第1条で定めた委託業務題目）」の成果を取りまとめたものです。

目次

概略	v
1. はじめに（背景と目的）	1-1
2. 業務計画	2. 1-1
2.1 全体計画	2. 1-1
2.2 平成27年度計画（5ヶ年計画の1年目）	2. 2-2
2.3 平成27年度の成果目標及び実施方法	2. 3-3
3. 平成27年度の実施内容及び成果	2. 3-1
3.1 地盤工学会・廃炉シナリオ検討委員会（JGS オールジャパン廃炉委員会）構築と 廃炉シナリオ及び廃炉地盤工学カリキュラムの設計	3. 1-1
3.1.1 廃炉シナリオ検討委員会（JGS オールジャパン廃炉委員会）の構築と廃炉シナリオの 実現性の検討	3. 1-1
3.1.2 廃炉地盤工学カリキュラムの設計開始	3. 1-7
3.2 重泥水の放射線遮蔽特性定量調査とそれを活用したデブリ取出し補助技術の可能性机上 検討及び福島第一原子力発電所構内の除染廃棄物の一時仮置き施設の覆土材のガンマ線 遮蔽特性データ取得と分析（再委託先：早稲田大学）	3. 2-1
3.2.1 試験の背景と目的	3. 2-1
3.2.2 試験概要	3. 2-2
3.2.3 試験結果の整理方法	3. 2-9
3.2.4 試験結果と考察	3. 2-10
3.2.5 まとめ	3. 2-13
3.3 広域な地下水流動を対象とした調査技術の精度検証と現場試験計画及び地下水流動 解析技術の環境整備（再委託先：千葉工業大学）	3. 3-1
3.3.1 室内土層実験による実流速の測定精度の検証	3. 3-2
3.3.2 実験井戸による現場試験計画	3. 3-3
3.3.3 浸透流解析・物質移行解析のための環境整備・構築	3. 3-12
3.4 研究推進	3. 4-1
3.4.1 廃炉地盤工学委員会	3. 4-1
3.4.2 1F 申請者会合	3. 4-1
3.4.3 関係機関協議	3. 4-2
3.4.4 講習会・視察等	3. 4-3
4. 結言	4-1

図一覧

図 1-1	各基盤研究で予想される成果の福島第一原子力発電所の廃止措置への適用の概念図	1-2
図 1-2	福島第一原子力発電所の現状評価からデブリ取出し、最終的な廃止措置に至るまでの時間経過における個別基盤研究テーマの位置づけと連結性	1-2
図 2-1	本事業の全体計画図	2. 1-1
図 2-2	平成 27 年度の業務実施計画	2. 2-2
図 3-1	事業実施体制	3. 1-3
図 3-2	資料整理結果（事故後の対応経緯概略）	3. 1-4
図 3-3	基本的なシナリオ素案	3. 1-5
図 3-4	マップ整理結果例①ー中長期措置技術ロードマップー	3. 1-6
図 3-5	マップ整理結果例②ー中長期ロードマップにおける工程と主要なマイルストーンー	3. 1-6
図 3-6	技術マップ（公開用）：①地盤力学	3. 1-7
図 3-7	技術マップ（公開用）：②地盤環境学	3. 1-8
図 3-8	技術マップ（公開用）：③地盤材料学	3. 1-8
図 3-9	技術マップ（公開用）：④地盤施工学	3. 1-9
図 3-10	技術マップ（平成 28 年 3 月版）①地盤力学～③地盤材料学	3. 1-10
図 3-11	技術マップ（平成 28 年 3 月版）④地盤施工学	3. 1-11
図 3-12	福島第一原子力発電所・原子炉建屋 1 号機と廃炉への目標工程	3. 2-1
図 3-13	覆土式一時保管施設	3. 2-2
図 3-14	超重泥水の作製概念	3. 2-4
図 3-15	各種サーベイメータの概観	3. 2-6
図 3-16	測定条件 A による試験の概要	3. 2-7
図 3-17	測定条件 B による試験の概要	3. 2-8
図 3-18	ガンマ線低減率と湿潤密度の関係	3. 2-10
図 3-19	中性子線低減率と体積含水率の関係	3. 2-10
図 3-20	超重泥水に関するガンマ線低減率と遮蔽体厚さの関係	3. 2-11
図 3-21	超重泥水に関する全中性子線低減率と遮蔽体厚さの関係	3. 2-11
図 3-22	高比重ブライン流体に関するガンマ線低減率と比重の関係	3. 2-12
図 3-23	高比重ブライン流体に関する各種中性子線低減率と体積含水率の関係	3. 2-13
図 3-24	浸透模型水槽	3. 3-2
図 3-25	タンク水位差による動水勾配	3. 3-1
図 3-26	試験場所候補地点（日本大学文理学部）	3. 3-4
図 3-27	試験場所候補地点（日本大学文理学部）周辺の地形	3. 3-5
図 3-28	代表的な地質柱状図（Takemura et al. 2016 に加筆）	3. 3-6
図 3-29	岩相ごとの水理特性（比抵抗、含水比、空隙率、粒径分布）	3. 3-6
図 3-30	地質構造モデル	3. 3-7

図 3-31	水頭分布の解析結果.....	3. 3-7
図 3-32	地下水流動に関する予測結果の例.....	3. 3-7
図 3-33	試験孔の配置概念.....	3. 3-9
図 3-34	試験孔の仕様と井戸仕上げの概念.....	3. 3-10
図 3-35	3次元解析モデル概念図.....	3. 3-13
図 3-36	境界条件.....	3. 3-13
図 3-37	塩水濃度分布経日変化図.....	3. 3-14

表一覧

表 3-1	委員会名簿.....	3. 1-2
表 3-2	技術マップにおける内訳数量.....	3. 1-9
表 3-3	2015 年度の試験で使用了超重泥水の配合	3. 2-2
表 3-4	使用了ベントナイトの基本的性質	3. 2-3
表 3-5	高比重ブライン流体の組成配合.....	3. 2-4
表 3-6	遮蔽用覆土材を想定した使用了土質材料.....	3. 2-5
表 3-7	使用線源と線量.....	3. 2-5
表 3-8	使用了サーベイメータの仕様.....	3. 2-5
表 3-9	測定条件 A による実験の諸元.....	3. 2-7
表 3-10	測定条件 B による実験の諸元.....	3. 2-8
表 3-11	試験項目一覧.....	3. 3-8
表 3-12	掘削方法の選択肢.....	3. 3-10
表 3-13	工程表.....	3. 3-11
表 3-14	計算速度.....	3. 3-12
表 3-15	入力物性値.....	3. 3-14

概略

地盤工学は原子力事業を支援する技術の一つとして、地下水流動予測や各種地盤改良工法等を通じて、被災原子炉から発生する汚染水対策に寄与しているのみならず、廃炉に至る今後の作業でも地下掘削や放射性廃棄物処分において重要な役割を果たすことができる。

一方、地盤工学・土木工学分野の専門家・技術者の多くは、一般公共事業への寄与を主な目的として技術開発を行っており、必ずしも原子力工学分野に詳しくないのも事実である。また、多くの土木工学系学科では、一般公共事業への寄与を念頭に置いた技術者教育が展開されているが、今後40年にもわたる福島第一原子力発電所の事故収束に寄与できる人材を育成するためには、従来型の地盤工学・土木技術者教育に加え、原子力工学分野の知見・教育事項を取り入れた新しいカリキュラムの構築と実践が必要不可欠である。

このような背景及び実情の打開を目指し、本事業では「原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF)：東京電力(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2015～2015年中長期ロードマップの改訂に向けて～、平成27年4月30日」に基づき、5カ年計画で実効性の高い研究及び技術開発を行うと共に、それを支える次代の技術者を育成する教育プログラムの構築をねらいとして研究を推進する。

なお、研究・技術開発では、先の技術戦略プランに示された「燃料デブリ取り出し」及び「長期的な措置を要する廃棄物」に焦点を当てつつ、福島第一原子力発電所でこれらの作業を進めるにあたって安全確保の観点から必要不可欠な工事環境や工事に伴う周辺環境への影響評価を取り上げ、以下に示す①～③を個別基盤研究テーマとして設定した。

- ① 現状から廃止措置までの長期間の地下水環境・作業環境の状況調査と将来予測
 - ・高精度かつ広域の地下水状況の把握
(放射性物質濃度の地下分布の高精度測定と将来予測技術の開発)
 - ・高精度かつ長期にわたる将来に適用可能な地下水調査・予測技術の構築
(構内における工事の安全性や資材搬入経路の選定、廃止措置までのモニタリング等に活用)
- ② 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
 - ・土や地盤が有する高い放射線遮蔽性能を活用した燃料デブリ取り出し方法の実効性評価
 - ・数多くの実績を有する掘削技術を援用したデブリ処理メニューの提示
(構内における工事の安全性や資材搬入経路の選定、廃止措置までのモニタリング等に活用)
- ③ 福島第一原子力発電所構内の除染廃棄物処分と原子炉建屋デコミッショニングに関する実現可能な技術の開発
 - ・地盤工学分野で開発された放射性廃棄物の処分技術を起点とした実現可能なデコミッショニング技術の開発と処分シナリオの構築

また、人材育成の面においては、地盤工学会内に専門の学術研究委員会を組織し、福島第一原子力発電所の廃止措置に寄与可能な地盤工学技術の体系化を進めると共に、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を目的としたプログラム「廃炉地盤工学」の構築を目指すものである。

以下に、5カ年計画の1年目である本年度業務成果の概略を述べる。

(1) 廃炉シナリオ検討委員会(JGS オールジャパン廃炉委員会)構築と廃炉シナリオ及び廃炉地盤工学カリキュラムの設計(地盤工学会)

■ 廃炉シナリオ検討委員会の構築と廃炉シナリオの実現性検討

- ・「福島第一原子力発電所廃止措置に向けた地盤工学の新技術と人材育成に関する検討会(略称:廃炉地盤工学委員会)※」を学会内に組織した。
- ・中長期ロードマップ・戦略プラン等を統一的な観点のもと整理し、実効性の高いと考えられる廃炉シナリオの素案を検討・構築した。
- ・廃炉過程において必要とされる技術を抽出すると共に、再委託先(早稲田大・千葉工大)から提供された最新の技術開発成果を吸い上げ、中長期ロードマップ等に表示されたシナリオを対象に、現存する技術の適用を試みた。

※学会の活動実態を反映した委員会名称にする慣例に則り、当該名称に変更。

■ 廃炉地盤工学カリキュラムの設計開始

- ・廃炉過程を時間的経過から「汚染水・地下水環境制御」・「燃料デブリの取出し」、「デコミッショニング」に分割し、前項で抽出した地盤工学系技術を学問単位(地盤力学・地盤環境学・地盤材料学・地盤施工学)で整理・割付け、技術マップとして体系化した。
- ・廃炉に必要な技術の位置付けの明確化を図ると共に、必要技術の欠落・優先すべき技術、既存技術応用の可能性等について検討した。
- ・今後の模擬授業の準備のため、前述の学問単位でカリキュラムを整理し、その構成について検討を開始した。

(2) 重泥水の放射線遮蔽特性定量調査とそれを活用したデブリ取出し補助技術の可能性机上検討及び福島第一原子力発電所構内の除染廃棄物の一時仮置き施設の覆土材のガンマ線遮蔽特性データ取得と分析(再委託先:早稲田大学/個別基盤研究テーマ②③)

- ・デブリ取出し補助技術として、ガンマ線と中性子線の両方の遮蔽性能を有する超重泥水技術の開発及びガンマ線遮蔽性能と遮水性能の両方を保有する覆土材の開発を進めた。
- ・各土質材料の放射線遮蔽特性は、設備備品である放射線遮蔽性能実験用具を活用して調査した。なお、覆土材の放射線遮蔽特性には、土質材料の含水状態や保水状況が寄与することから、保水性試験装置を用いた実験の結果を踏まえ整理した。
- ・個別基盤研究の支援データとして活用するため、各材料の仕様に応じてデータを整理し、データベースのプロトタイプを試作した。
- ・廃炉シナリオ検討のため、開発した土質材料の利用を想定したシナリオメニューを試作すると共に、作業のための空間放射線低減効果の検討に向けた情報を収集した。

(3) 広域な地下水流動を対象とした調査技術の精度検証と現場試験計画及び地下水流動解析技術の環境整備(再委託先:千葉工業大学/個別基盤研究テーマ①)

■ 室内土層実験による実流速の測定精度の検証

地下水の流向・流速を測る試験装置(流向・流速計等)の測定精度を検証するため、浸透模型水槽(土層実験水槽)を設計・製作し、問題点・課題を整理した。併せて、初級者向け

の手順書を作成し、学生も含めた若手技術者を対象に実験講習会を開催した。

■ 実験井戸による現場試験計画

実験を行うにあたっての課題・条件について検討すると共に、試験場所やその背景情報（地形・地質・地下水環境）、及び試験手順を整理した上で、ボーリング孔（試験孔）を用いた現場試験計画を策定した。

■ 浸透流解析・物質移行解析のための環境整備・構築

広領域・長期間の地下水環境変動予測技術開発に向けて、地下水理のモデル化や浸透流解析・物質移行解析のためのハード（クラスタマシン）やソフト（解析と図化）などの研究開発環境の整備に着手した。

（４）研究推進

学会内に設置した委員会において、取りまとめられた各研究開発成果を実効性の観点から議論することで、より質の高い研究成果を得ることを目指した。また、研究を円滑に進めるために主要メンバー（幹事以上）による会合を適宜実施すると共に、関連諸機関との連携及び情報交換のため、各種会議に参画した。

1. はじめに（背景と目的）

地盤工学は原子力事業を支援する技術の一つとして、地下水流動予測や各種地盤改良工法等を通じて、被災原子炉から発生する汚染水対策に寄与しているのみならず、廃炉に至る今後の作業でも地下掘削や放射性廃棄物処分において重要な役割を果たすことができる。一方で、地盤工学・土木工学分野の専門家・技術者の多くは、一般公共事業への寄与を主な目的として技術開発を行っているため、必ずしも原子力工学分野に詳しくないのも事実である。そのため、福島第一原子力発電所の燃料デブリ取出しから廃止措置に貢献できる基本的技術を保有しているにもかかわらず、原子力工学分野の求めている事項を認識していないが故に、直接的な寄与ができていないのが実情と考えられる。土木工学系学科の多くでは、一般公共事業への寄与を念頭に置いた技術者教育が展開されているが、今後40年にもわたる福島第一原子力発電所の事故収束に寄与できる人材を育成するためには、従来型の地盤工学・土木技術者教育に加え、原子力工学分野の知見・教育事項を取り入れた新しいカリキュラムの構築と実践が必要不可欠である。具体的には、20世紀に地盤工学・土木工学が多大な貢献を果たしてきた原子力発電所の建設技術に加えて、立地や放射性廃棄物の処分、解体・撤去など、廃止措置に至る過程を一貫して担うことのできる教育プログラムを構築する。これにより、廃止措置において、地盤工学・土木工学の観点から寄与・貢献できる技術産業を創出し、若者が将来の職業として魅力を感じる産業に育成することで、東京電力福島第一廃炉推進カンパニー等への人材輩出及び実効的な技術支援が可能になるものとする。

以上のような背景と実情を打開することを目指し、本研究課題では「原子力損害賠償・廃炉等支援機構（2015）：東京電力（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2015～2015年中長期ロードマップの改訂に向けて～、平成27年4月30日」に基づき、実効性の高い研究及び技術開発を行うと共に、それを支える次代の技術者を育成する教育プログラムの構築をねらいとして研究推進を行う。戦略プランでは「福島第一原子力発電所の廃炉作業は、事故に由来する通常の原子力発電所にはない放射性物質によるリスクを継続的に下げるための取り組みであり、当該戦略プランは中長期のリスク低減戦略の設計と言え、その策定に当たり、安全、確実、合理的、迅速、現場指向という5つの基本的考え方を定め、リスク低減の優先順位付けをして今後の取り組みをまとめている」とされる。そして、同プランでは優先順位により3つに分類された主要なリスク源のうち、可及的速やかに対処すべき「汚染水等」については既に対策が進められているという認識の下、周到な準備を必要とし、数多くの課題にチャレンジしなければならない「燃料デブリ取り出し」と「長期的な措置を要する廃棄物対策」の検討を実施するとされる。

そこで、本研究では「燃料デブリ取り出し」及び「長期的な措置を要する廃棄物対策」に焦点を当てると共に、福島第一原子力発電所でこれらの作業を実施するにあたり、安全確保の観点から必要不可欠となる工事環境や工事に伴う周辺環境への影響評価も取り上げ、このような狙いを達成すべく、次のテーマ①～③を基盤研究として実施する。

テーマ①：現状から廃止措置までの長期間の地下水環境・作業環境の状況調査と将来予測

テーマ②：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

テーマ③：福島第一原子力発電所構内の除染廃棄物処分と原子炉建屋デコミッショニングに関する実現可能な技術の開発

図 1-1 に本研究課題の基盤研究テーマとそれらの相関を模式図として示す。また、図 1-2 には福島第一原子力発電所の現状評価からデブリ取出し、最終的な廃止措置に至るまでの時間経過における個別基盤研究テーマの位置づけと連結性を模式図として示す。

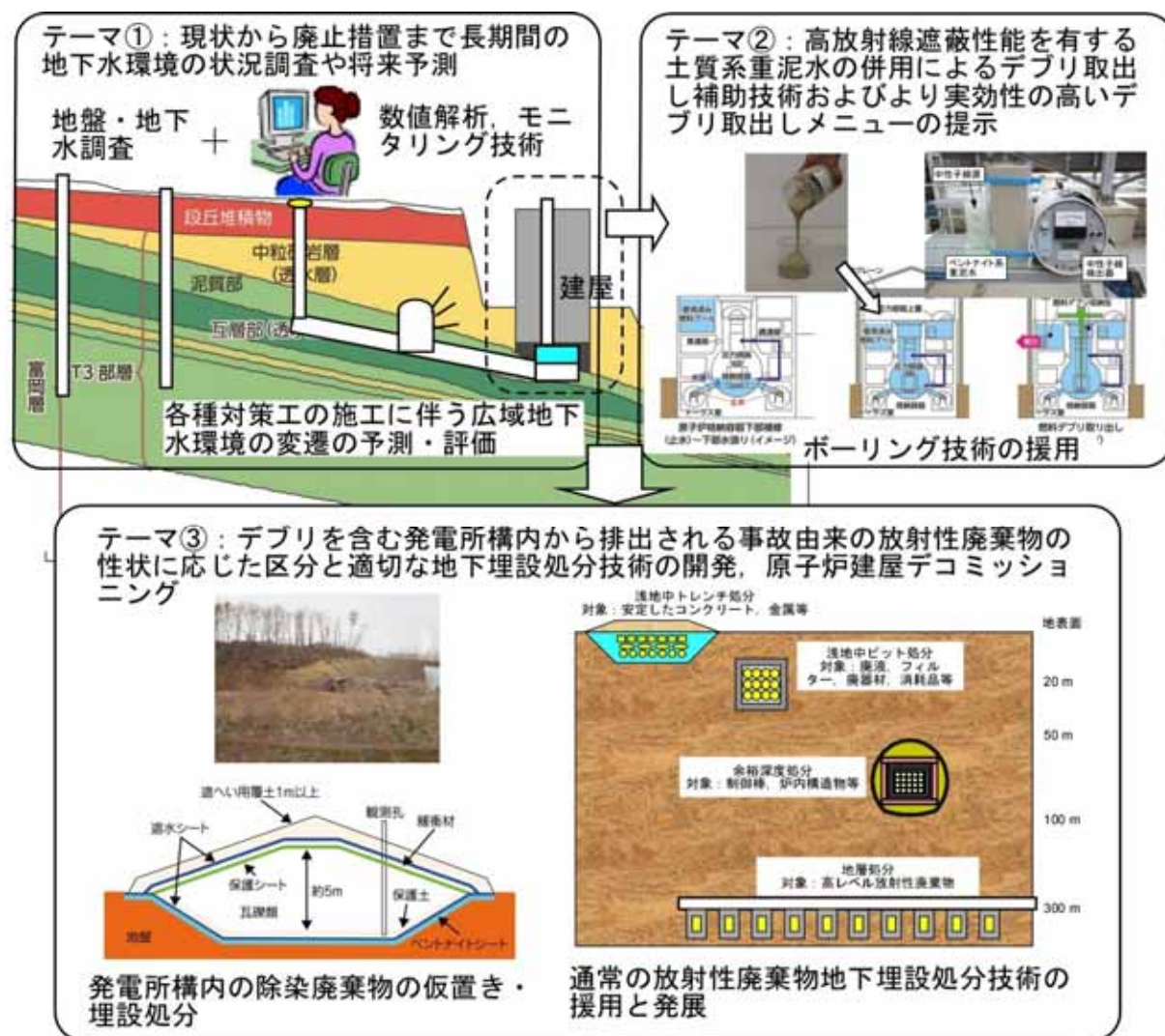


図 1-1 各基盤研究で予想される成果の福島第一原子力発電所の廃止措置への適用の概念図

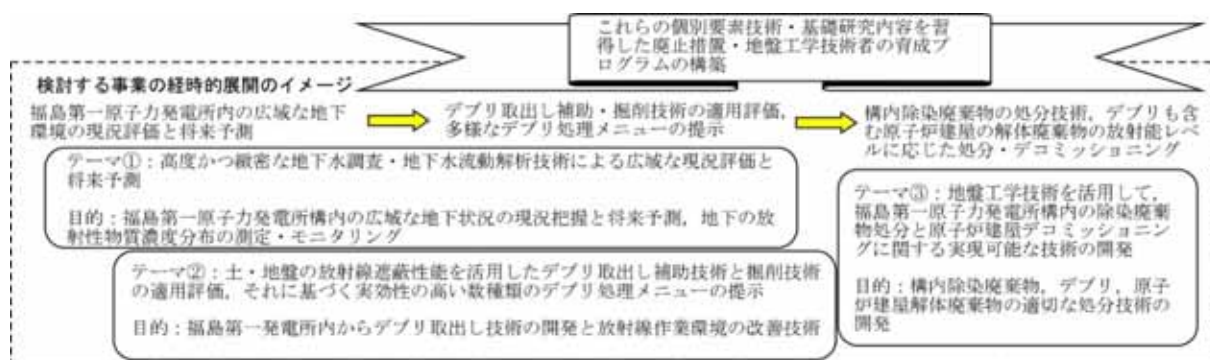


図 1-2 福島第一原子力発電所の現状評価からデブリ取出し、最終的な廃止措置に至るまでの時間経過における個別基盤研究テーマの位置づけと連結性

以下に、本研究における実施内容の具体を個別基盤研究テーマごとに取りまとめると共に、地盤工学会としての狙い・方針を述べる。

「テーマ①：現状から廃止措置までの長期間の地下水環境・作業環境の状況調査と将来予測」

高精度かつ広域な地下水状況の把握、特に放射性物質濃度の地下分布の高精度測定と将来予測技術を開発する。また、福島第一原子力発電所構内で行われる工事の安全性や資材搬入経路選定などに活用するため、極めて高精度かつ長期将来に適用可能な地下水調査・予測技術を構築する。さらに、開発した技術は廃止措置までの地下水モニタリングにも応用する。

「テーマ②：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」

土・地盤の持つ高い放射線遮蔽性能を活用しながら、炉心熔融により格納容器内に残置されている燃料デブリを取り出す方法の実効性評価と非常に数多くの実績のある掘削技術を援用したデブリ処理メニューの提示を行う。

「テーマ③：福島第一原子力発電所構内の除染廃棄物処分と原子炉建屋デコミッショニングに関する実現可能な技術の開発」

地盤工学分野で開発された放射性廃棄物処分技術を起点に、実現可能なデコミッショニング技術の開発と処分シナリオの構築を行う。これは、未解決の課題であるデブリ取出しに向けた発電所構内で進められている除染工事で発生する廃棄物の処理・処分、及び取り出されるデブリや解体される原子炉建屋の処分におけるデコミッショニング技術の開発を行うものである。

以上の個別基盤研究に対して、地盤工学会では日本全国に及ぶネットワークを活用して、広い分野の英知を結集した専門の学術研究委員会を学会内に設置し、各テーマの研究開発成果を議論し、よりよい研究成果となるよう導く。また、廃止措置に寄与可能な地盤工学技術を個別基盤研究で開発した技術も含めて体系化し、原子力技術者と協働できるような新しい地盤工学技術者を育成するプログラム「廃炉地盤工学」を構築する。

2. 業務計画

2.1 全体計画

本事業は、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、高放射線環境下での作業等、原子力分野特有の条件を地盤工学分野の技術と融合し、現状から廃炉までの時間軸を考慮した個別基盤研究テーマ①～③の技術開発を進めると共に、これら廃止措置に寄与可能な地盤工学技術を体系化し、原子力技術者と協働できるような新しい地盤工学技術者を育成するプログラム「廃炉地盤工学」を構築する。

本事業の全体計画図（5カ年計画）を図2-1に示す。

研究項目	平成 27年度	平成 28年度	平成 29年度	平成 30年度	平成 31年度
(1) 廃炉シナリオ検討・構築、人材育成プログラム(地盤工学会：テーマ③及び成果総括)					
1) 廃炉シナリオの検討・構築	←				→
2) 廃炉地盤工学カリキュラムの構築	←				→
(2) 重泥水の放射線遮蔽特性定量調査とそれを活用したデブリ取出し補助技術の可能性机上検討及び福島第一原子力発電所構内の除染廃棄物の一時仮置き施設の覆土材のガンマ線遮蔽特性データ取得と分析(早稲田大学：テーマ②③)					
1) 重泥水等放射線遮蔽実験	←				→
2) 各種遮蔽材設計		←			→
(3) 広域な地下水流動を対象とした調査技術の精度検証と現場試験計画及び地下水流動解析技術の環境整備(千葉工業大学：テーマ①*)					
	←				→
(4) 研究推進	←				→

*個別基盤研究テーマ

図2-1 本事業の全体計画図

2.2 平成27年度計画（5ヶ年計画の1年目）

本成果報告書では、5カ年計画の1年目である本年度業務の実績を述べる。今年度の業務実施計画を図2-2に示す。

業務項目	実 施 日 程											
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
(1) 地盤工学会・廃炉シナリオ検討委員会（JGS オールジャパン廃炉委員会）の構築と廃炉シナリオ及び廃炉地盤工学カリキュラムの設計												
① 廃炉シナリオ検討委員会（JGS オールジャパン廃炉委員会）の構築と廃炉シナリオの試設計									←			→
② 廃炉地盤工学カリキュラムの設計開始									←			→
(2) 重泥水の放射線遮蔽特性定量調査とそれを活用したデブリ取出し補助技術の可能性机上検討及び福島第一原子力発電所構内の除染廃棄物の一時仮置き施設の覆土材のガンマ線遮蔽特性データ取得と分析（早稲田大学）									←			→
(3) 広域な地下水流動を対象とした調査技術の精度検証と現場試験計画及び地下水流動解析技術の環境整備（千葉工業大学）									←			→
(4) 研究推進									←			→

図 2-2 平成 27 年度の業務実施計画

2.3 平成27年度の成果目標及び実施方法

本項では、本年度成果目標及び実施方法の具体について、各作業項目ごとに整理して示す。なお、個別基盤研究テーマ①～③を含む作業については、その旨を明記した。

(1) 地盤工学会・廃炉シナリオ検討委員会（JGS オールジャパン廃炉委員会）の構築と廃炉シナリオ及び廃炉地盤工学カリキュラムの設計

① 廃炉シナリオ検討委員会（JGS オールジャパン廃炉委員会）の構築と廃炉シナリオの試設計
地盤工学会の日本全国に及ぶ広いネットワークを活用して、広い分野の英知を結集した廃炉シナリオ検討委員会（JGS オールジャパン廃炉委員会）を地盤工学会内に組織し、廃炉過程において必要とされる技術の洗い出しとその技術を活用した実現性の高い廃炉シナリオを案出・検討する。検討委員会の中に、個別基盤研究テーマ①～③ごとのワーキンググループを設置し、検討内容の議論を牽引する。

廃炉シナリオ検討委員会では、中長期ロードマップに示される廃炉シナリオに対して、現存する技術の適用を試み、具体的な技術とシナリオにおける実施項目の対応の具体化を行うと共に、今後必要と考えられる地盤工学的技術の抽出を行う。また、再委託先である早稲田大学及び千葉工業大学から提供される最新の技術開発成果を吸い上げて、より実効性の高いと考えられる廃炉シナリオの提案と試設計を行う。

② 廃炉地盤工学カリキュラムの設計開始

廃炉過程で活用される地盤系技術の整備・教育を進めるために「廃炉地盤工学」のカリキュラム設計を開始する。廃炉過程を時間的経過から「汚染水・地下水環境制御」・「燃料デブリの取出し」、「デコミッショニング」に分割し、廃止措置に活用が期待できる地盤工学系技術をリストアップする。必要な技術の抽出にあたっては、地盤工学を「地盤力学（力学的安定性評価）」、「地盤環境学（地盤内及び地盤を介した空間の環境評価）」、「地盤材料学（地盤系物質の建設・施工材料としての評価）」、「地盤施工学（地盤に着目した施工シナリオの作成）」等に単元分けし、必要とされる技術の洗い出しや割付を行う。このような一次的な体系化により、廃炉に必要な技術の位置付けを明確にし、必要技術の欠落や優先すべき技術、さらに既存技術の応用の可能性等を検討する。また、今後の模擬授業の準備のため、現存の単元でカリキュラムを並べ一次構成を開始する。

(2) 重泥水の放射線遮蔽特性定量調査とそれを活用したデブリ取出し補助技術の可能性机上検討及び福島第一原子力発電所構内の除染廃棄物の一時仮置き施設の覆土材のガンマ線遮蔽特性データ取得と分析（再委託先：早稲田大学／個別基盤研究テーマ②及び③）

デブリ取出し補助のためのガンマ線と中性子線の両方の遮蔽性能を有する超重泥水技術の開発とガンマ線遮蔽性能と遮水性能の両方を保有する覆土材の開発を行うと共に、各材料の放射線遮蔽特性を、設備備品の放射線遮蔽性能実験用用具を活用して調査する。

覆土材の放射線遮蔽特性は、土質材料の含水状態・保水状況が寄与していると考えられることから、設備備品の覆土土質材の保水性試験装置を活用した実験結果を踏まえて整理する。これらの成果は、個別基盤研究テーマの②、③を支援するデータベースとなり、各材料の仕

様に応じてデータを整理し、データベースのプロトタイプの試作を行う。また、より実効性の高い廃炉シナリオを検討するため、開発した材料の利用を想定した廃炉シナリオメニューの試作と工事作業のための空間放射線低減効果を検討するための情報収集を行う。

(3) 広域な地下水流動を対象とした調査技術の精度検証と現場試験計画及び地下水流動解析技術の環境整備（再委託先：千葉工業大学／個別基盤研究テーマ①）

個別基盤研究テーマ①における現状から廃止措置までの長期間の地下水環境・作業環境の状況調査と将来予測のうち、以下の項目を実施する。

地下水の流向・流速を測る試験装置（流向・流速計等）の測定精度を検証するため室内土層実験の設計・制作を行い、問題点を抽出する。また、ボーリング孔を用いた現場試験を計画する。これらの実験に関しては、学生も含め若手技術者を対象に講習会を実施する。広領域・長期間の地下水環境変動予測技術を開発するため、地下水理のモデル化及び浸透流解析・物質移行解析のためのハード（クラスタマシン）やソフト（解析と図化）の環境整備を行う。

(4) 研究推進

地盤工学会内に構築した廃炉シナリオ検討委員会（JGS オールジャパン廃炉委員会）において、研究代表者及び再委託先の研究を取りまとめ、その成果について実効性の観点から議論を行い、より質の高い研究の推進を図った。

3. 平成27年度の実施内容及び成果

3.1 地盤工学会・廃炉シナリオ検討委員会(JGS オールジャパン廃炉委員会)構築と廃炉シナリオ及び廃炉地盤工学カリキュラムの設計

3.1.1 廃炉シナリオ検討委員会(JGS オールジャパン廃炉委員会)の構築と廃炉シナリオの実現性の検討

(1) 廃炉シナリオ検討委員会(JGS オールジャパン廃炉委員会)の構築

地盤工学会では、2014年度 F/S 研究に採択された「文部科学省 国家課題対応型研究開発推進事業－廃止措置等基盤研究・人材育成プログラム委託費」『汚染水対策・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』において「福島第一原子力発電所汚染水問題に関する会長特別懇談会」を組織し、福島第一原子力発電所の事故処理に対する地盤工学技術の貢献の方法を検討してきた。本年度、文部科学省「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業 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術開発と人材育成プログラム』(2015年度～2019年度)を遂行するにあたっては、地盤工学会の日本全国に及ぶ広いネットワークを活用し、産官学の英知を結集するため、新たに学会員からメンバーを募集し、廃炉シナリオ検討委員会を立ち上げた。

同委員会では、中長期ロードマップや技術プラン 2015 に示された廃炉シナリオに対して、必要技術の抽出や既存技術の適用性・応用等、地盤工学技術の位置づけを明確かつ具体化し、個別基盤研究の開発成果を踏まえた、より実効性の高いと考えられる廃炉シナリオの構築を目指すほか、これらの技術を体系化し、原子力技術分野の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を構築する方針である。また、上述の会長特別懇談会のメンバーは、廃炉シナリオ検討委員会のコアメンバーとして参画し、会長特別懇談会は発展的に解消した。

表 3-1 に廃炉シナリオ検討委員会の構成を示す。コアメンバーは委員長、副委員長、座長、幹事長、幹事(複数)から構成され、委員会の運営方法等を協議するために少なくとも1～2ヶ月に1回は会合(以下、1F 申請者会合と記述する)をもつこととした。また、委員は表 3-1 に“W.G.”列に示すとおり、以下の1～3のワーキンググループに割付け、検討活動が行いやすくなるように心がけた。

1. 地盤・地下水環境の現況調査と将来予測 WG
2. 燃料デブリの取り出し補助技術 WG
3. 廃棄物処分とデコミッショニング WG

廃炉シナリオ検討委員会の全体会合は、2016年1月7日に表 3-1 のメンバーを招集して、開催した。議事内容や主な討議事項については 3.4.3 節に取りまとめたので、そちらを参照のこと。

表 3-1 委員会名簿

No.	会務	W. G.	氏名	所属
1	委員長	ALL	東畑 郁生	関東学院大学
2	副委員長	1, 2, 3	鈴木 誠	千葉工業大学
3	座長	1, 2, 3	小峯 秀雄	早稲田大学
4	幹事長	1, 2, 3	後藤 茂	地盤工学会／早稲田大学
5	幹事	3	高尾 肇	日揮（株）
6	幹事	3	渡邊 保貴	（一財）電力中央研究所
7	幹事	1, 2, 3	斉藤 泰久	パシフィックコンサルタンツ（株）
8	幹事	1, 2, 3	菱岡 宗介	パシフィックコンサルタンツ（株）
9	幹事	1, 2, 3	黒崎 ひろみ	パシフィックコンサルタンツ（株）
10	委員	1	末岡 徹	（株）地圏環境テクノロジー
11	委員	1	浅岡 顕	（公財）地震予知総合研究振興会
12	委員	1	日下部 治	茨城工業高等専門学校
13	委員	2	三村 衛	京都大学大学院
14	委員	2	勝見 武	京都大学大学院
15	委員	3	河西 基	（株）アサノ大成基礎エンジニアリング
16	委員	2	黒木 亮一郎	（独）日本原子力研究開発機構
17	委員	3	藤崎 淳	原子力発電環境整備機構（NUMO）
18	委員	1	新貝 文昭	パシフィックコンサルタンツ（株）
19	委員	1	田中 耕一	鹿島建設（株）
20	委員	1	佐原 史浩	鹿島建設（株）
21	委員	1	瀬尾 昭治	鹿島建設（株）
22	委員	1	須山 泰宏	鹿島建設（株）
23	委員	2	井尻 裕二	大成建設（株）
24	委員	2	長峰 春夫	大成建設（株）
25	委員	2	堀越 研一	大成建設（株）
26	委員	1	奥野 哲夫	清水建設（株）
27	委員	3	土 宏之	清水建設（株）
28	委員	3	樋口 義弘	清水建設（株）
29	委員	3	山本 修一	（株）大林組
30	委員	2	深谷 正明	（株）大林組
31	委員	1	松田 隆	（株）大林組
32	委員	3	下河内 隆文	（株）竹中工務店
33	委員	1	菱谷 智幸	（株）ダイヤコンサルタント
34	委員	3	西本 壮志	（一財）電力中央研究所
35	委員	3	塩月 正雄	（独）日本原子力研究開発機構
36	委員	1	竹内 真司	日本大学
37	委員	3	嘉門 雅史	京都大学名誉教授
38	委員	2	張 鋒	名古屋工業大学
39	委員	3	小高 猛司	名城大学
40	委員	3	土田 孝	広島大学
41	委員	2	半井 健一郎	広島大学
42	オブザーバー		高橋 美昭	東京電力（株）
42	オブザーバー		今津 雅紀	原子力損害賠償・廃炉等支援機構（NDF）
43	オブザーバー		井上 雅則	国立研究開発法人科学技術振興機構
44	オブザーバー		豊口 佳之	内閣府
45	オブザーバー		近藤 裕之	内閣府
46	オブザーバー		大橋 秀昭	技術研究組合 国際廃炉研究開発機構（IRID）
47	オブザーバー		松元 慎一郎	技術研究組合 国際廃炉研究開発機構（IRID）

なお、「廃炉シナリオ検討委員会」は地盤工学会の活動実態を反映した委員会名称にする慣例に則り、平成 28 年度から「福島第一原子力発電所廃止措置に向けた地盤工学的新技术と人材育成に関する検討委員会」（略称「廃炉地盤工学委員会」）と称することとなった。

当該委員会を含めた本採択案件の事業実施体制を図 3-1 に示す。



図 3-1 事業実施体制

(2) 廃炉シナリオの実現性の検討

1) 既存資料の整理

シナリオ実現性の検討に先立ち、本学会内での理解度の統一を図ると共に、既存の地盤工学技術の適用性を探るために求められている技術要件等を明らかにすることを目的として、既存の中長期ロードマップや技術プラン^{(1)~(7)}など関連資料を時系列に沿う形で、包括的に整理した。以下にその結果を示す。

平成 23(2011)年 4 月 17 日	福島第一原子力発電所・事故の収束に向けた道筋, 東京電力 (株)																		
平成 23(2011)年 5 月 17 日	東京電力福島第一原子力発電所事故の収束・検証に関する当面の取組のロードマップ, 東京電力 (株)																		
平成 23(2011)年 7 月	東京電力福島第一原子力発電所事故の収束・検証に関する当面の取組のロードマップにおけるステップ 1 完了																		
平成 23(2011)年 7 月 21 日	原子力委員会: 東京電力(株)福島第一原子力発電所における中長期措置検討専門部会の設置 (中長期の取組の在り方・取組に効果的な技術開発課題・取組における国際協力の在り方)																		
平成 23(2011)年 12 月 13 日	原子力委員会決定: 東京電力(株)福島第一原子力発電所における中長期措置に関する検討結果について ⇒ スリーマイルアイランド原子力発電所 2 号機 (TMI-2) における事故後の対応例を参考に、中長期措置技術ロードマップを策定。																		
	<事故概略>一次冷却水の喪失に伴う炉心燃料の溶融、及び炉心全体にわたる燃料溶融・損傷が発生。 (但し、RPV: 圧力容器・PCV: 格納容器や施設設備に重大な損傷はなく、建屋外への放射性物質による汚染は発生せず) ※赤字は福島第一原子力発電所事故との相違点 <事故対応>対応 (Clean-up Program) は、次の 3 つのフェーズからなる。 - 安定化 (Stabilization) : 炉心のコントロール、格納容器へのアクセス、水処理など - 燃料取出し (Fuel Removal) : 従事者の被ばく線量低減、炉心解体、廃棄物管理など - 除染 (Decontamination) : 除染、廃棄物処理 <作業経過> - 事故発生 (同年作業開始) : 1979 年 3 月 - RPV 上蓋開放 : 事故から約 5.5 年後 - 燃料デブリ取出し開始 : 事故から約 6.5 年後 - 燃料デブリ取出し終了 : 1990 年 (事故から約 11 年後)																		
平成 23(2011)年 12 月	東京電力福島第一原子力発電所事故の収束・検証に関する当面の取組のロードマップにおけるステップ 2 完了																		
平成 23(2011)年 12 月 21 日	東京電力(株)福島第一原子力発電所 1~4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ, 原子力災害対策本部 政府・東京電力中長期対策会議																		
平成 24(2012)年 7 月 30 日	東京電力(株)福島第一原子力発電所 1~4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ (改訂第 1 版)																		
平成 24(2012)年 12 月	福島第一原子力発電所 特定原子力施設に係る実施計画, 東京電力株式会社																		
平成 25(2013)年 6 月 27 日	東京電力(株)福島第一原子力発電所 1~4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ (改訂第 2 版)																		
平成 25(2013)年 11 月	4 号機使用済み燃料の取出し開始に伴い、中長期ロードマップ第 2 期へ。																		
平成 27(2015)年 2 月 18 日	中長期リスクの低減目標マップ (平成 27 年 2 月版), 原子力規制庁 原子力規制委員会																		
	福島第一原子力発電所の措置に関する目標を示すため、次の 8 つの分野毎にリスク低減のための主な目標を記載。 <table> <tr> <th><分野></th><th><目的></th></tr> <tr> <td>・液体放射性廃棄物</td><td>: 液体放射性廃棄物が溜まっていることにより生ずる漏洩リスクの低減</td></tr> <tr> <td>・固体放射性廃棄物</td><td>: 廃炉作業の進捗に伴い発生する固体放射性廃棄物の飛散・漏洩リスクの低減</td></tr> <tr> <td>・使用済燃料プール</td><td>: 使用済燃料プールにおいて顕在化するリスクの除去</td></tr> <tr> <td>・地震・津波</td><td>: 汚染水や使用済燃料を内在する建屋等において顕在化するリスクの除去</td></tr> <tr> <td>・敷地境界有効線量 (評価値)</td><td>: 廃炉作業に伴う敷地外の被ばく被曝リスクの制限</td></tr> <tr> <td>・ダスト飛散防止・抑制</td><td>: 廃炉作業に伴い発生する放射性ダストの飛散リスクの抑制</td></tr> <tr> <td>・労働環境改善</td><td>: 持続的廃炉作業を可能とする環境の実現</td></tr> <tr> <td>・施設内調査</td><td>: 被災した施設内の状況把握</td></tr> </table>	<分野>	<目的>	・液体放射性廃棄物	: 液体放射性廃棄物が溜まっていることにより生ずる漏洩リスクの低減	・固体放射性廃棄物	: 廃炉作業の進捗に伴い発生する固体放射性廃棄物の飛散・漏洩リスクの低減	・使用済燃料プール	: 使用済燃料プールにおいて顕在化するリスクの除去	・地震・津波	: 汚染水や使用済燃料を内在する建屋等において顕在化するリスクの除去	・敷地境界有効線量 (評価値)	: 廃炉作業に伴う敷地外の被ばく被曝リスクの制限	・ダスト飛散防止・抑制	: 廃炉作業に伴い発生する放射性ダストの飛散リスクの抑制	・労働環境改善	: 持続的廃炉作業を可能とする環境の実現	・施設内調査	: 被災した施設内の状況把握
<分野>	<目的>																		
・液体放射性廃棄物	: 液体放射性廃棄物が溜まっていることにより生ずる漏洩リスクの低減																		
・固体放射性廃棄物	: 廃炉作業の進捗に伴い発生する固体放射性廃棄物の飛散・漏洩リスクの低減																		
・使用済燃料プール	: 使用済燃料プールにおいて顕在化するリスクの除去																		
・地震・津波	: 汚染水や使用済燃料を内在する建屋等において顕在化するリスクの除去																		
・敷地境界有効線量 (評価値)	: 廃炉作業に伴う敷地外の被ばく被曝リスクの制限																		
・ダスト飛散防止・抑制	: 廃炉作業に伴い発生する放射性ダストの飛散リスクの抑制																		
・労働環境改善	: 持続的廃炉作業を可能とする環境の実現																		
・施設内調査	: 被災した施設内の状況把握																		
平成 27(2015)年 4 月 30 日	東京電力(株)福島第一原子力発電所廃炉のための技術戦略プラン 2015 ~2015 年中長期ロードマップの改訂に向けて~, 原子力損害賠償・廃炉等支援機構																		
	位置づけ “燃料デブリ取出し”、“廃棄物対策”について、研究開発を含む取組計画を取りまとめ。 リスク低減に向けた基本的事業方針 ①安全 放射性物質によるリスクの低減及び労働安全の確保 ②確実 信頼性が高く、柔軟性のある技術 ③合理的 リソース (ヒト、モノ、カネ、スペース等) の有効活用 ④迅速 時間軸の意識 ⑤現場志向 徹底した三現 (現場、現物、現実) 主義																		
平成 27(2015)年 6 月 12 日	東京電力(株)福島第一原子力発電所 1~4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ (改訂案), 第 2 回廃炉汚染水対策関係閣僚会議																		
平成 27(2015)年 8 月 5 日	中長期リスクの低減目標マップ (平成 27 年 8 月版), 原子力規制庁 原子力規制委員会																		
平成 28(2015)年 3 月 2 日	中長期リスクの低減目標マップ (平成 28 年 3 月版), 原子力規制庁 原子力規制委員会																		

図 3-2 資料整理結果 (事故後の対応経緯概略)

2) 廃炉シナリオ素案の検討・構築

前項で整理した各種マップで想定されている工程を基に、考え得る基本的な廃炉シナリオの素案を検討・構築した。検討にあたっては、平成 23 年 12 月に策定された中長期措置技術ロードマップから平成 28 年 6 月の中長期ロードマップ改訂案までを対象に、これらのマップで示された廃炉までに必要な作業や内容を 9 つの項目に区分・抽出した上で、時間的な経過を考慮しつつ、それぞれの項目同士の関連性を示す形とした。

図 3-3 に構築した基本的なシナリオの素案を示す。



図 3-3 基本的なシナリオ素案

このシナリオ素案は、平成 27 年度時点において作業が完了した内容も含め、事故発生後から廃炉までの全体の流れを示したものである。シナリオの構造としては、『プラント安定状態維持・管理』を一例に挙げると、この下位には「臨界管理」「冷却」「閉じ込め」「安全設備の維持・信頼性向上」など、より詳細な作業工程・項目が想定されている⁽⁷⁾。従って、上記の 9 つの項目の下位には、より詳細なシナリオが設定されることになる。

なお、本年度検討ではシナリオ素案として、廃炉までの全体の流れを示した段階であるが、次年度以降の検討では、これらの各項目の下位に設定されたより詳細な作業工程や内容及び求められる技術要件を整理し、シナリオ構築を進める方針である。これによって、「①：次節で述べる廃炉に適用可能な地盤工学技術を整理した技術マップ構築に寄与することが可能（関連する技術情報をより正確且つ効率的に収集可能）」になると共に、「②地盤工学分野の視点を加味したシナリオの提案」に結びつくことが期待できるものと考えている。

参考として、シナリオ素案の構築過程で整理したマップの例を図 3-4～図 3-5 に示す。

なお、これら既往のロードマップ等の整理にあたり、それぞれが異なる形式（時間枠・作業項目等）で取りまとめられていた状況を分かり易くするため、廃炉までの一連の流れを考慮した全体的なシナリオ構築を念頭におきつつ、本事業では年代や項目、表現・書式などについて、一定の統一を図った。

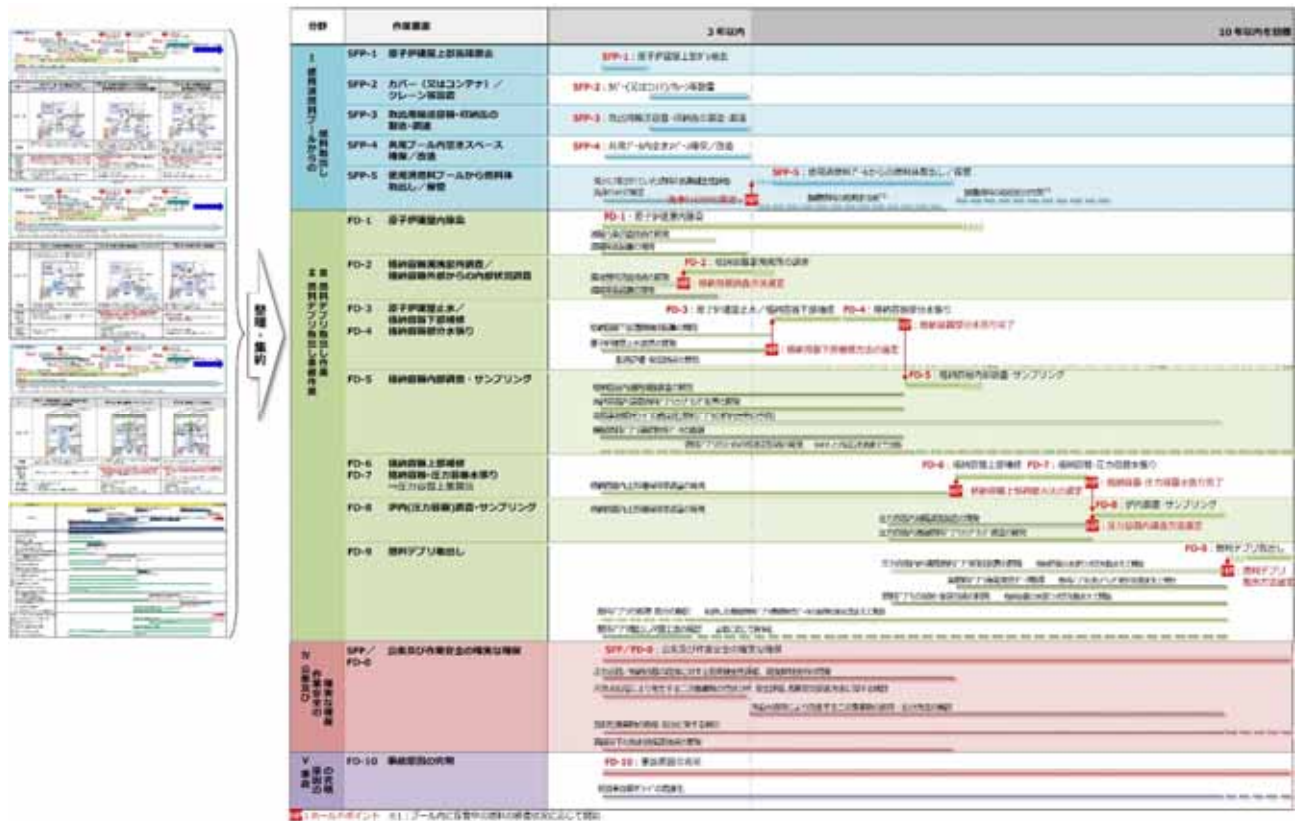


図 3-4 マップ整理結果例①—中長期措置技術ロードマップ



図 3-5 マップ整理結果例②—中長期ロードマップにおける工程と主要なマイルストーン

3.1.2 廃炉地盤工学カリキュラムの設計開始

(1) 廃炉地盤工学の意義

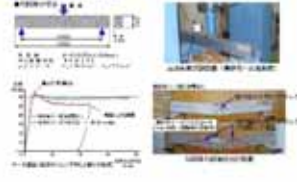
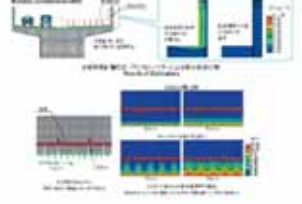
廃炉地盤工学とは地盤力学、地盤環境学、地盤材料学、地盤施工学を学問単位として、原子力発電所の廃止措置の段階毎に必要とされる技術を分類し、位置付けたものである。これは廃止措置に貢献できる地盤工学的技術を体系化することで、同技術の廃止措置各段階での位置付け（適用可能性）を明確化し、新技術の創出や技術の高度化を促進すると共に、廃炉事業のための人材教育を主目的としたものである。

廃炉地盤工学については、将来的には一般的な原子力発電所の廃止処置を対象とするが、当面は事故を起こした福島第一原子力発電所の1～4号機を対象とする。

(2) 技術マップの構築

廃炉地盤工学では技術の実現性に重点を置くため、技術の改良・改善を含めて既存の地盤系技術の適用性の評価が重要となる。そこで、廃炉地盤工学の創出に向けて、地盤工学技術を廃炉の観点から再評価すると共に、既存技術の性能向上や新技術の創出、及び再体系化を図るため、前節で示した構築したシナリオ素案と各種マップの整理結果を踏まえつつ、各廃炉段階と学問単位とに技術を位置づけた『技術マップ』の試構築を行った。なお、技術マップで位置づけた様々な技術は、本事業で実施した基盤研究開発成果、及び第一回廃炉地盤工学委員会における呼び掛けによって集められたものである。

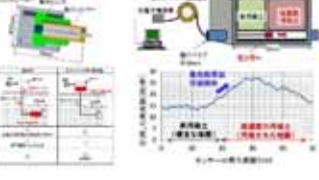
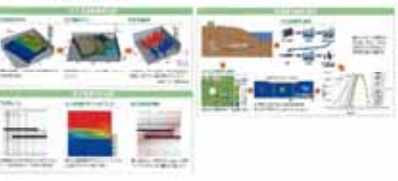
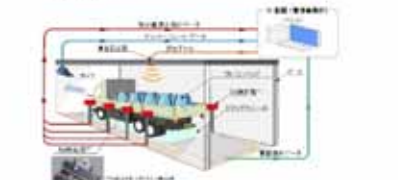
図3-6～図3-9に試構築した技術マップを示す。

廃炉地盤工学における技術マップ (rev.08.1) - 1/4			
分類	(A) 汚染水・地下水環境・建築技術	(B) 燃料デブリ取出し技術	(C) 地震・地盤・デコミッション
廃止措置の段階	・ 潜水状態地盤の地盤時変動特性評価技術	・ 汚染水貯留施設の安定性評価技術 ・ 原子炉建屋下部の放射線遮蔽防止施設のための地下基地の安定性評価技術	・ デコミッションの段階に合った地盤・基礎系の安定性評価技術
学問分野	・ 「プラント安定状態の維持・管理（原子炉の冷却）」 冷却、閉じ込め、安全設備の機能・信頼性向上など ・ 「汚染水処理」 汚染水浄化・地下水涵み上げ など	・ 「燃料デブリ取出し工法適用性検討」 PCV建屋の構造健全性の確保	・ 「評価（保安・管理）」 固体廃棄物の保管管理（保管管理計画）など
①地盤力学		③B-023 地盤コンクリートによるRFR構造物形状保持技術（97213-1） ／清水建設株式会社 	③C-013 コンクリートの耐久性評価技術（LIFE D.N.A.）／鹿島建設株式会社 

※表内に整理された技術が複数段階と予想される中長期ロードマップや技術マップ等に示された作業工程・内容

図3-6 技術マップ(公開用)：①地盤力学

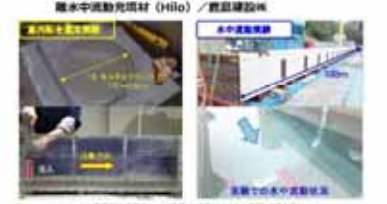
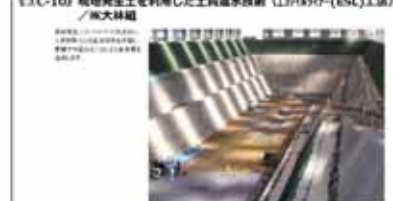
廃炉地盤工における技術マップ (rev.08.1) - 2/4

分類	(A) 汚染水・地下水処理・除染技術	(B) 燃料デブリ取出し技術	(C) 廃棄・処分・デコミッションング
主要な技術	- 地下水流出の流動と放射性汚染物質の移動を予測・計測する技術 - 放射性物質で汚染された地盤の周辺環境を回復させるための技術	- 地下基盤（原子炉建屋下部）の空間放射線量の環境評価技術 - 燃料デブリ取出し作業環境の放射線レベル評価技術	- デコミッションング段階に合わせた建屋周囲の地下水環境・放射線環境予測と評価技術 - 多相環境成分対応の地下水環境評価技術 - 廃棄利用やサイト解放を見据えた浄化技術／廃棄化技術
工程・内容	「プラント安定状態の維持・管理（原子炉の冷却）」 - 冷却、閉じ込め、安全設備の維持・信頼性向上など 「汚染水処理」 - 汚染水浄化・地下水涵み上げ など	「使用済み燃料プールからの燃料取出し」 - デブリ除去・除去・搬出 「燃料デブリ取出し工法実用性検討」 - 燃料デブリ取出し格納・調整の開発、燃料デブリへのアクセスルート構築、労働安全の確保 「燃料デブリの取出し（プラント安定状態の維持・管理）」 - 安全設備の維持・信頼性向上 など	「貯蔵（保管・管理）」 - 固体廃棄物の保管管理（保管管理計画） 「処理・処分」 - 固体廃棄物の処理・処分（処理及び処分方法に関する検討） など
主要な技術資料	《2A-01》地下水・核種試験（111111）を活用した原子力建屋周囲の地盤状況の対応した評価技術／予備工大 地下水環境・作業環境の状況調査と地盤評価 【調査・調査】 地下水環境調査（地下水環境調査） 地盤状況調査（地盤状況調査） 《2A-02》広域水環境を評価できる解析ソフト「GIFLOWS」／地盤環境評価ソフト  図3-7-12	《2B-01》断層帯材料の放射線透過性能の評価技術／断層帯大・西武建設・ホーシオン・SRE 燃料デブリ取出し環境評価 燃料デブリ取出し環境評価 燃料デブリ取出し環境評価 《2B-02》光「H」を使った放射線検知装置の小型化技術／断層帯建設  図3-7-11	《2C-07》地盤状況の安全性を評価する放射性廃棄物地盤状況安全評価技術／大武建設  《2C-10》2D/3Dを駆使した放射線環境を迅速測定する TRUCK SCAN／断層帯建設  図3-7-10

※表内に整理された技術が真似可能と予想される中長期ロードマップや技術マップ等に示された作業工程・内容

図 3-7 技術マップ（公開用）：②地盤環境学

廃炉地盤工における技術マップ (rev.08.1) - 3/4

分類	(A) 汚染水・地下水処理・除染技術	(B) 燃料デブリ取出し技術	(C) 廃棄・処分・デコミッションング
主要な技術	・汚染水貯留プールに適用可能な高性能止水材料の開発 ・止水壁の信頼性を高める高性能止水材料の開発 ・瓦葺・浅埋材保管に適した高透水性土材料と止水材料の開発	・燃料デブリからの放射線遮蔽能力の高くホーリング等を容易にする格納筒等充填材料（液体） ・格納筒漏水漏れ箇所対応可能な高透水性止水材料の開発 ・燃料デブリの一種的耐熱性封じ込めに対応可能な可変的透水性・塑性（高透水性）充填材の開発	・瓦葺・浅埋材保管に適した高透水性土材料と止水材料の開発 ・多相環境成分に対応した高透水性充填材料の開発 ・変動的な閉じ込め・遮断に対応できる格納筒等高透水性充填材料の開発 ・デコミッションングにおける保護全体を導く高透水性土材料の開発
工程・内容	・「プラント安定状態の維持・管理（原子炉の冷却）」 冷却、閉じ込め、安全設備の維持・信頼性向上など ・「汚染水処理」 汚染水浄化・地下水涵み上げ など	・「炉内・燃料デブリの状況把握」 実地調査による推定（RPV・PCV） ・「燃料デブリ取出し工法実用性検討」 燃料デブリ取出し格納・調整の開発、燃料デブリへのアクセスルート構築、労働安全の確保 ・「燃料デブリの取出し（プラント安定状態の維持・管理）」 安全設備の維持・信頼性向上 など	・「貯蔵（保管・管理）」 固体廃棄物の保管管理（発生量把握・保管管理計画） ・「処理・処分」 固体廃棄物の処理・処分（処理及び処分方法に関する検討）
主要な技術資料	《2A-03》地盤中の空隙・間隙を効率的に充填注入する可変性ゲル／断層帯建設 	《2B-03》福島第一原子力発電所地下水配管トレンチの修復処に使用した断層帯水や流動性充填材（Hilo）／断層帯建設 	《2C-06》粘性土壌を重なりさらさらにするがれきと土の差別補助材料（面DRY）／断層帯建設 
	《2A-163》3D/4D/5D/6D/7D/8D/9D/10D/11D/12D/13D/14D/15D/16D/17D/18D/19D/20D/21D/22D/23D/24D/25D/26D/27D/28D/29D/30D/31D/32D/33D/34D/35D/36D/37D/38D/39D/40D/41D/42D/43D/44D/45D/46D/47D/48D/49D/50D/51D/52D/53D/54D/55D/56D/57D/58D/59D/60D/61D/62D/63D/64D/65D/66D/67D/68D/69D/70D/71D/72D/73D/74D/75D/76D/77D/78D/79D/80D/81D/82D/83D/84D/85D/86D/87D/88D/89D/90D/91D/92D/93D/94D/95D/96D/97D/98D/99D/100D/101D/102D/103D/104D/105D/106D/107D/108D/109D/110D/111D/112D/113D/114D/115D/116D/117D/118D/119D/120D/121D/122D/123D/124D/125D/126D/127D/128D/129D/130D/131D/132D/133D/134D/135D/136D/137D/138D/139D/140D/141D/142D/143D/144D/145D/146D/147D/148D/149D/150D/151D/152D/153D/154D/155D/156D/157D/158D/159D/160D/161D/162D/163D/164D/165D/166D/167D/168D/169D/170D/171D/172D/173D/174D/175D/176D/177D/178D/179D/180D/181D/182D/183D/184D/185D/186D/187D/188D/189D/190D/191D/192D/193D/194D/195D/196D/197D/198D/199D/200D/201D/202D/203D/204D/205D/206D/207D/208D/209D/210D/211D/212D/213D/214D/215D/216D/217D/218D/219D/220D/221D/222D/223D/224D/225D/226D/227D/228D/229D/230D/231D/232D/233D/234D/235D/236D/237D/238D/239D/240D/241D/242D/243D/244D/245D/246D/247D/248D/249D/250D/251D/252D/253D/254D/255D/256D/257D/258D/259D/260D/261D/262D/263D/264D/265D/266D/267D/268D/269D/270D/271D/272D/273D/274D/275D/276D/277D/278D/279D/280D/281D/282D/283D/284D/285D/286D/287D/288D/289D/290D/291D/292D/293D/294D/295D/296D/297D/298D/299D/300D/301D/302D/303D/304D/305D/306D/307D/308D/309D/310D/311D/312D/313D/314D/315D/316D/317D/318D/319D/320D/321D/322D/323D/324D/325D/326D/327D/328D/329D/330D/331D/332D/333D/334D/335D/336D/337D/338D/339D/340D/341D/342D/343D/344D/345D/346D/347D/348D/349D/350D/351D/352D/353D/354D/355D/356D/357D/358D/359D/360D/361D/362D/363D/364D/365D/366D/367D/368D/369D/370D/371D/372D/373D/374D/375D/376D/377D/378D/379D/380D/381D/382D/383D/384D/385D/386D/387D/388D/389D/390D/391D/392D/393D/394D/395D/396D/397D/398D/399D/400D/401D/402D/403D/404D/405D/406D/407D/408D/409D/410D/411D/412D/413D/414D/415D/416D/417D/418D/419D/420D/421D/422D/423D/424D/425D/426D/427D/428D/429D/430D/431D/432D/433D/434D/435D/436D/437D/438D/439D/440D/441D/442D/443D/444D/445D/446D/447D/448D/449D/450D/451D/452D/453D/454D/455D/456D/457D/458D/459D/460D/461D/462D/463D/464D/465D/466D/467D/468D/469D/470D/471D/472D/473D/474D/475D/476D/477D/478D/479D/480D/481D/482D/483D/484D/485D/486D/487D/488D/489D/490D/491D/492D/493D/494D/495D/496D/497D/498D/499D/500D/501D/502D/503D/504D/505D/506D/507D/508D/509D/510D/511D/512D/513D/514D/515D/516D/517D/518D/519D/520D/521D/522D/523D/524D/525D/526D/527D/528D/529D/530D/531D/532D/533D/534D/535D/536D/537D/538D/539D/540D/541D/542D/543D/544D/545D/546D/547D/548D/549D/550D/551D/552D/553D/554D/555D/556D/557D/558D/559D/560D/561D/562D/563D/564D/565D/566D/567D/568D/569D/570D/571D/572D/573D/574D/575D/576D/577D/578D/579D/580D/581D/582D/583D/584D/585D/586D/587D/588D/589D/590D/591D/592D/593D/594D/595D/596D/597D/598D/599D/600D/601D/602D/603D/604D/605D/606D/607D/608D/609D/610D/611D/612D/613D/614D/615D/616D/617D/618D/619D/620D/621D/622D/623D/624D/625D/626D/627D/628D/629D/630D/631D/632D/633D/634D/635D/636D/637D/638D/639D/640D/641D/642D/643D/644D/645D/646D/647D/648D/649D/650D/651D/652D/653D/654D/655D/656D/657D/658D/659D/660D/661D/662D/663D/664D/665D/666D/667D/668D/669D/670D/671D/672D/673D/674D/675D/676D/677D/678D/679D/680D/681D/682D/683D/684D/685D/686D/687D/688D/689D/690D/691D/692D/693D/694D/695D/696D/697D/698D/699D/700D/701D/702D/703D/704D/705D/706D/707D/708D/709D/710D/711D/712D/713D/714D/715D/716D/717D/718D/719D/720D/721D/722D/723D/724D/725D/726D/727D/728D/729D/730D/731D/732D/733D/734D/735D/736D/737D/738D/739D/740D/741D/742D/743D/744D/745D/746D/747D/748D/749D/750D/751D/752D/753D/754D/755D/756D/757D/758D/759D/760D/761D/762D/763D/764D/765D/766D/767D/768D/769D/770D/771D/772D/773D/774D/775D/776D/777D/778D/779D/780D/781D/782D/783D/784D/785D/786D/787D/788D/789D/790D/791D/792D/793D/794D/795D/796D/797D/798D/799D/800D/801D/802D/803D/804D/805D/806D/807D/808D/809D/810D/811D/812D/813D/814D/815D/816D/817D/818D/819D/820D/821D/822D/823D/824D/825D/826D/827D/828D/829D/830D/831D/832D/833D/834D/835D/836D/837D/838D/839D/840D/841D/842D/843D/844D/845D/846D/847D/848D/849D/850D/851D/852D/853D/854D/855D/856D/857D/858D/859D/860D/861D/862D/863D/864D/865D/866D/867D/868D/869D/870D/871D/872D/873D/874D/875D/876D/877D/878D/879D/880D/881D/882D/883D/884D/885D	《2B-04》大規模・大水深でも適用可能な空間充填材（T-PLUS）／大規模建設 	《2C-10》現地発生土を利用した土質改良技術（13F/85分（ESL）工法）／大規模建設 

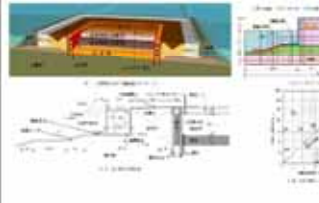
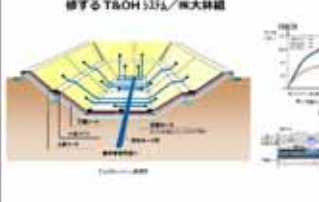
廃炉地盤工学における技術マップ (rev.08.1) - 4/4			
分類	(A) 汚染水・地下水環境・除染技術	(B) 燃料デブリ取出し技術	(C) 処置・処分・デコミッションング
廃炉地盤工学	- 地下水の流入を止める信頼性の高い治水型の構築工法 - 漏洩する地下埋設物に対応できる透水壁構築工法 - 汚染水プールに設置する自己診断機能付き治水壁工法	- 燃料デブリ取出しのための高精度ボーリング工法 - 燃料デブリ取出し時における地下基礎の構築工法 - 汚染水漏れ箇所封鎖のための高透水性グラウチング工法 - 使用済燃料及び燃料デブリ取出し時における燃料建屋内の除染技術	- 地下埋設物封鎖の構築工法 - 高い放射能レベルの放射性廃棄物・使用済み燃料等の処分技術 - 安定的な掘削・掘削に対応できる汚染物質高濃縮性取工法 - 建屋全体の中詰めベントナイトを併用した鋼製外殻による封じ込め工法 - 瓦礫・残材の保管施設構築技術 - 汚染土壌の最小化のための埋置技術 - 汚染土壌の浄化・回収技術 - 将来利用の想定に応じた地盤改良・確立技術
地盤工学	「プラント安定状態の維持・管理（原子炉の冷却）」 - 汚染、浸し込み、変位設備の維持・信頼性向上など 「汚染水処理」 - 汚染水浄化・地下水涵み上げ など	「炉内・燃料デブリの状況把握」 - 実機調査による測定（RPV-PCV） 「燃料デブリ取出し工法実用性検討」 - 燃料デブリ取出し機器・装置の試験、燃料デブリへのアクセスルート構築、労働安全の確保 「燃料デブリの取出し（プラント安定状態の維持・管理）」 - 変位設備の維持・信頼性向上 など	「貯蔵（保管・管理）」 - 放射性廃棄物の保管管理（保管管理計画） 「処置・処分」 - 放射性廃棄物の処理・処分（処理及び処分方法に関する検討） など
地盤工学	【A-01】「H」型を利用した信頼性の高い瓦礫・残材の保管施設構築工法／早稲田大  【A-06】自在「シグマ」を用いた地盤改良工法（CURVED）／道前建設所 	【B-05】代替工法のための燃料デブリの切削・搬送技術／大成建設  【B-09】3D 3D 3Dを用いた燃料建屋の復旧作業の効率化／清水建設 	【C-02】広域な海面を利用できる汚染処分場の建設工法／広域大  【C-21】傾斜した二重流水シートの真空圧より排水箇所を特定し、急速排水するT&OH 33A/床大特製 

図 3-9 技術マップ(公開用) : ④地盤施工学

なお、上記の技術マップは集められたリーフレット、カタログ、技術論文などに示された図版・写真なども共に示し、技術を分かり易く紹介することに主眼においた構成としている。しかし、今後は更に多数の技術が集まることが想定されるため、各廃炉段階のどの作業項目に適用可能な技術なのかなどについて系統立てて整理し、将来的なデータベース化に向けた構成案についても検討し、整理した。

図 3-10～図 3-11 に各廃炉段階 (A～C) と学問単位 (①～④) に基づく管理番号を付与し、整理・再構築した技術マップを、本事業において収集・整理した技術の内訳数量 (平成 28 年 3 月時点) を表 3-2 に取りまとめる。

表 3-2 技術マップにおける内訳数量

	(A) 汚染水・地下水環境・除染	(B) 燃料デブリ取出し	(C) 処置・処分・デコミッションング
①地盤力学	0 件	2 件	1 件
②地盤環境学	14 件	3 件	12 件
③地盤材料学	18 件	5 件	10 件
④地盤施工学	20 件	8 件	21 件

3) 地盤材料学

[概要]

地盤系材料であるボーリング補助液、止水材、グラウト材、覆土材料等について、新材料の創出を視野に入れた性能向上のための技術を主体に取り扱う。

[授業内容]

単元を構成するものとしては、土壌化学や土壌物理学の講義、材料の配合実験、材料性能や特性の評価技術実習、材料を用いた施工実験などである。

4) 地盤施工学

[概要]

地盤関連の施工技術である掘削、埋戻し及び基礎の構築や地盤・空隙への固化物の注入、地下構造物の構築等について、施工場所の状態に応じて最適な材料・工法の選択が行える能力の育成を目指す。状態に応じた最適な材料・工法の選択とは一般的な工事において施工計画の作成時に行われられていることであり、従って、施工計画とはきわめて具体性の高いシナリオと解釈することもできる。

[授業内容]

単元を構成するものとしては、数値計画論、出来形・出来高管理技術等の土木系計画論の講義、施工計画で用いるバーチャルシミュレーション技術の実習と開発、現地での施工経験などであり、これらは実際に工事を行っている企業へのインターンシップを含めて実施する。

参考文献

- (1) 東京電力(株)福島第一原子力発電所における中長期措置に関する検討結果, 原子力委員会 東京電力(株)福島第一原子力発電所中長期措置検討専門部会(平成 23 年 12 月), 8~18 及び図表 1~13 より
- (2) 東京電力(株)福島第一原子力発電所 1~4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ, 廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議 (平成 23 年 12 月)
- (3) 東京電力(株)福島第一原子力発電所 1~4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ (改訂第 1 版), 廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議 (平成 24 年 7 月)
- (4) 東京電力(株)福島第一原子力発電所 1~4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ (改訂第 2 版), 廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議 (平成 25 年 6 月)
- (5) 東京電力(株)福島第一原子力発電所 1~4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ (改訂案), 第 2 回廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議 (平成 27 年 6 月)
- (6) 中長期リスクの低減目標マップ (平成 27 年 2 月版) ほか, 原子力規制庁 原子力規制委員会
- (7) 東京電力(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 2015, 原子力損害賠償・廃炉等支援機構 (平成 27 年 4 月)

3.2 重泥水の放射線遮蔽特性定量調査とそれを活用したデブリ取り出し補助技術の可能性机上検討及び福島第一原子力発電所構内の除染廃棄物の一時仮置き施設の覆土材のガンマ線遮蔽特性データ取得と分析（再委託先：早稲田大学）

3.2.1 試験の背景と目的

平成 23 年 12 月より福島第一原子力発電所の廃止措置に向けた検討が進められてきたが、中でも溶融して固まった燃料（以下「燃料デブリ」）の取り出しが重要な課題¹⁾となっている。原子力災害対策本部による「福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃炉措置等に向けた中長期ロードマップ」¹⁾では、2018 年度上半期に燃料デブリ取り出し方法を確定するとされており、取り出し作業時の安全確保の検討が重要事項とされる。図 3-12 に原子炉建屋 1 号機の様子と、廃炉に向けた目標工程を示す。

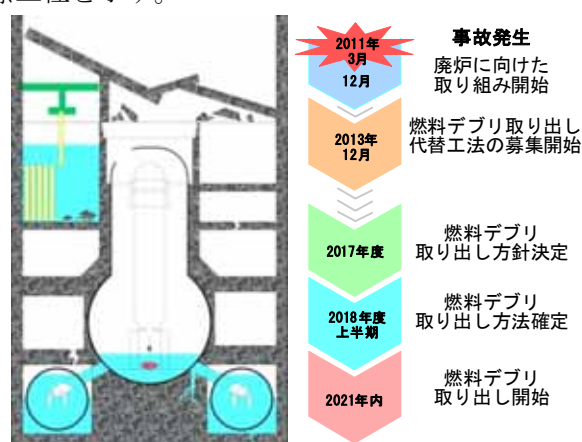


図 3-12 福島第一原子力発電所・原子炉建屋 1 号機と廃炉への目標工程

2015 年 12 月現在、政府の戦略プランでは、最も確実な燃料デブリ取り出し方法として、「冠水工法」が有力とされている。しかし、水による遮蔽は特に中性子線に有効であるが、水でガンマ線を遮蔽するためには、距離を十分に設ける必要がある。ここで、中性子線とガンマ線に対して、水よりも高い放射線遮蔽性能を発揮する充填材料として、基本比重 2.5 程度のベントナイト系高比重泥水である「超重泥水」が、2014 年度の FS 研究において考案され、超重泥水の高比重と含水によりガンマ線と中性子線を共に遮蔽できる可能性が確認された^{2)～7)}。2015 年度では、より有効な放射線遮蔽特性を発揮するための材料仕様設計に資するため、種々配合設計し作製した超重泥水のガンマ線と中性子線の遮蔽特性を実験的に調査すると共に、ホウ素含有の有効性及び層厚の効能を定量的に調べることを目的とする。

一方、福島第一原子力発電所構内において、汚染瓦礫など事故後に発生した放射性廃棄物の一部は、覆土式一時保管施設で保管されている。図 3-13 に覆土式一時保管施設の概要を示す。この図における遮蔽用覆土に使用される土質材料の放射線遮蔽特性の定量的な評価は、十分とは言えない。そこで、遮蔽用覆土材として使用される可能性の高い各種土質材料の放射線遮蔽特性についても実験的に明らかにし、層厚と放射線遮蔽の関係を定量的に評価することを目的とする。

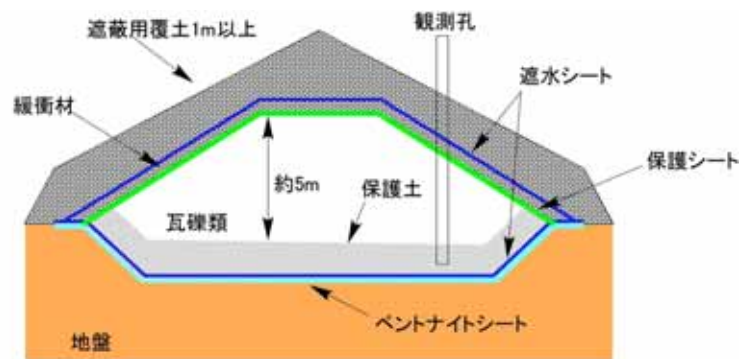


図 3-13 覆土式一時保管施設

3.2.2 試験概要

本試験ではガンマ線及び中性子線の両線源を用いて透過線量を測定することにより、物質の放射線低減性能が依存するパラメータを明らかにする。また、各遮蔽材料に関して、ガンマ線及び中性子線の遮蔽性能の設計に活用するデータベースの試作を行った。

(1) 使用した超重泥水及び高比重ブライン流体

1) 超重泥水

本試験で使用した超重泥水の組成配合を以下の表 3-3 に、また、使用した各材料についての説明を以降に述べる。

表 3-3 2015 年度の試験で使用した超重泥水の配合

超重泥水 種類	比重	水道水もしくは蒸留水 (g)	ピロリン酸 ナトリウム (g)	Na 型 ベントナイト (g)	バライト (g)	五ホウ酸 ナトリウム (g)
A	2.5	100	0.2	7	400	0
B	1.8	100	0.2	10	140	0
C	1.1	100	0.2	12	10	0
A ホウ素有	2.5	100	0.2	7	400	4.3751
B ホウ素有	1.8	100	0.2	10	140	4.3751
C ホウ素有	1.1	100	0.2	12	10	4.3751

水素原子 H は他の原子と異なり、原子核が陽子 1 個から成り立つため、中性子衝突断面積が大きい。したがって液体の状態で、水素原子の空間存在度が大きい H_2O が中性子の減速材として用いられる。実験室における試料作製には蒸留水を用いるが、遮蔽実験など超重泥水が大量に必要となる際は、水道水を使用して作製する。

ピロリン酸ナトリウムは、重泥水中の粒子の沈降防止のために添加する。遮蔽材としての長期使用において、材料劣化を生じさせないため、無機系分散剤の一つであるピロリン酸ナトリウムを使用する。

Na 型ベントナイトであるスーパークレイは、主に粒子の沈降防止、また遮水性の付加を目的に添加する。

表 3-4 に使用したベントナイトの基本的な地盤工学的性質を示す。なお、以降に示す地盤工学的性質は関連の図書を参照して頂くと共に、代表的な指標として含水比と湿潤密度について説明する。

含水比とは、土に含まれる水分質量を土の乾燥質量すなわち土粒子の占める部分の質量で除し百分率で表示した物理量である。湿潤密度とは、湿潤状態の土質材料の質量を体積で除して表示した物理量である。なお、表 3-4 中の液性限界と塑性限界は、土の状態と含水比の観点から定義されるもので、液性限界は塑性状と液体状の境界状態の含水比を、塑性限界は半固体と塑性状の境界状態の含水比を意味する。また、塑性指数は液性限界と塑性限界の幅を意味するもので、無次元の物理量である。

表 3-4 使用したベントナイトの基本的性質

土粒子の密度 (Mg/m ³)	2.62
モンモリロナイト含有率 (%)	55
液性限界 (%)	547.0
塑性限界 (%)	47.39
塑性指数	499.61

バライト（重晶石）は、高密度にすることで、ガンマ線の遮蔽性等をより有効にするために使用する。超重泥水の高比重はバライトの高密度（4.21 Mg/m³）に起因する。バライトの主成分は硫酸バリウム BaSO₄ であるが、不純物として Ca や Zn、Al、Mg を含有する無機鉱物であり、粉末状において親水性を示す。

五ホウ酸ナトリウムは、運動エネルギーの小さい中性子の遮蔽に有効であることから使用する。陽子と中性子の集合である核子と核子の間で衝突を繰り返し、原子核内に留まることがある。この原子核内への留まりやすさの目安を、中性子吸収断面積という。ホウ素 B は熱中性子線の吸収断面積が大きく、超重泥水に添加することで中性子線遮蔽性能の向上が期待される。ここで粒子の凝集を防ぐため、弱アルカリ性を示す五ホウ酸ナトリウムを使用する。

2) 高ブライン流体

本実験では、上記に加えてデブリの不可視化を解消する充填材として、水のように透明性を保持し、高比重な材料である高比重ブライン流体を使用した。なお、作製条件により臭化カルシウムと塩化カルシウムのコンビネーションブライン流体をブライン A、臭化カルシウムのみを用いた溶液をブライン B とし、臭化カルシウムと塩化カルシウムは二水和物の結晶状態のものを使用した。高ブライン流体の組成配合を表 3-5 に示す。

表 3-5 高比重ブライン流体の組成配合

種類 1		組成配合 (出来上がり 1L)				実験時の 比重
ブライン	目標比重 @21℃	水分量 (g)	CaBr ₂	CaCl ₂	CaBr ₂ /CaCl ₂ 濃度 (%)	
A	1.80	685.0	822.0	323.0	62.57	1.81@31℃
	1.50	816.6	468.8	224.2	45.60	1.50@34℃
B	1.73	825.0	1004.9	0	52.16	1.74@14℃
	1.67	890.2	780.1	0	44.37	1.67@16℃
	1.58	905.0	670.2	0	40.41	1.59@16℃

(2) 超重泥水及び高比重ブライン流体の作製方法

超重泥水の作製手順を以下に記述すると共に、作製の概念を図 3-14 に示す。

- ① 攪拌用容器 (1L) に所定量の蒸留水を測り取る。
- ② 所定の蒸留水を入れた攪拌容器に、ピロリン酸ナトリウムを添加し、攪拌機を用いて 400～450rpm で 2 分間攪拌する。
- ③ 攪拌しながらベントナイトを添加し、攪拌機を用いて 400～450rpm で 2 分間攪拌する。
ベントナイトがダマになってしまう場合はヘラなどを用いてダマを潰す作業を行う。
- ④ 攪拌しながらバライトを添加し、攪拌機を用いて 400～450rpm でさらに 2 分間攪拌する。

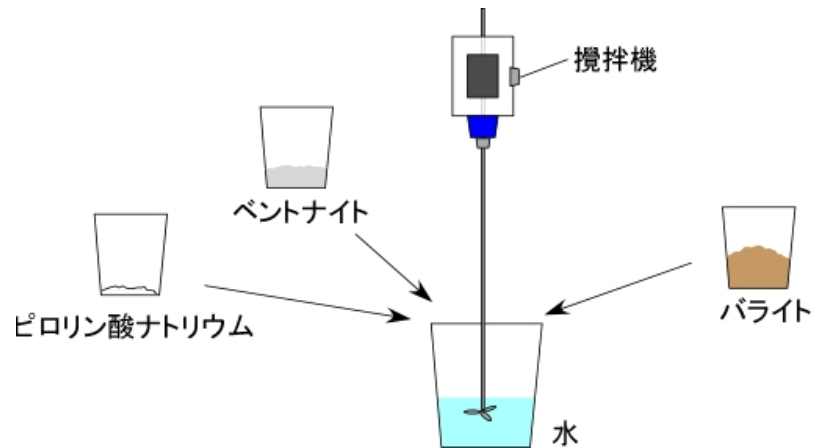


図 3-14 超重泥水の作製概念

なお、高比重ブライン流体の作製方法については、特に投入順については規定せず、表 3-5 の配合に基づき混合し、作製した。

(3) 遮蔽用覆土材を想定して使用した土質材料

汚染瓦礫など、事故後に発生した放射性廃棄物の一部は、現在、覆土式一時保管施設で保管される。放射線遮蔽性能を測定した土質材料の一覧を表 3-6 に示す。

表 3-6 遮蔽用覆土材を想定した使用した土質材料

	土質分類	土粒子の密度 (Mg/m ³)	目標含水比 (%)	目標湿潤密度 (Mg/m ³)
DL クレー	シルト質土	2.62	30	－
クレイサンド	粘性土	2.60	30	1.7
関東ローム 7 種	粘性土	2.90	0	－
			30	1.2
関東ローム 11 種	粘性土	3.00	0	－
			30	1.2
東北珪砂 5 号	砂質土	2.62	0	－
			20 (飽和状態を 想定)	－

注) 目標湿潤密度の欄において、「－」と記した条件は、特に目標の湿潤密度を設定せず、目標含水比のみ設定し、後述の容器内で実施できる締固め方法で行った。目標湿潤密度に数値が記されているケースでは、締固め試験に基づき、設定した目標含水比に応じて、湿潤密度の目標値を設定した。

(4) 放射線遮蔽試験の概要と方法

本試験で用いた放射線源は、密度計や水分計に用いられる測定用の線源である。表 3-7 に使用線源と線量を示す。

表 3-7 使用線源と線量

	線源	線量(MBq)	エネルギー
ガンマ線	¹³⁷ Cs	3.68	0.662
中性子線	²⁵² Cf	1.067	1.406

本試験で使用したサーベイメータを表 3-8 及び図 3-15 に示す。

表 3-8 使用したサーベイメータの仕様

検出項目	サーベイメータ	検出器	測定範囲(μSv/h)
ガンマ線	TCS-172B	NaI シンチレーション	B. G～30
全中性子線	TPS-451C	³ He 比例計数管	0.01～10000
高速～速中性子線	ANDES	³ He 比例計数管	－
熱中性子	WARP	³ He 比例計数管	－



ガンマ線：アロカ製 TCS-172



全中性子線：アロカ製 TPS-451C



高速中性子線：SRE 製 ANDES



熱中性子線：SRE 製 WARP

図 3-15 各種サーベイメータの概観

ガンマ線と全中性子線の測定に使用したアロカ製サーベイメータは、放射線の 1cm 線量当量率(Sv/h)の測定を行う。一方で、高速～速熱、熱中性子線の測定を行った SRE 製のサーベイメータでは、1 分間あたりの放射線の個数(cpm) (放射線による不連続な信号)を測定している。どちらも空間放射線量率であるが、放射線強度の概念が異なるため、測定値の比較は容易ではない。

試験方法及び遮蔽実験の条件を以下に示す。遮蔽体厚さの調整方法は次の二通りで検討した。すなわち、遮蔽体厚さごとに容器を用意し、それぞれを測定する条件 A と、容器の個数を変えることで遮蔽体厚さを変化させ、それぞれを測定する条件 B である。実験手順は測定条件 A、B の両方法において同様である。

以下に実験方法を示す。

- ① 地表面から 70 cm 以上離れた土台に、測定試料を充填したアクリル容器を設置する。
- ② あらかじめ測定しておいた線源位置から 500mm の地点に放射線検出器を設置する。
- ③ アクリル容器の放射線透過面に接するように、線源を設置する。
- ④ 放射線検出器を作動させ、検出した値を読み取り、記録を行う。
- ⑤ 測定を終えたら、検出器と線源の組み合わせを変更し、測定を行うことを繰り返す。
- ⑥ 遮蔽体厚さを 10cm、20cm、30cm 及び 40cm と変更し、上記の手順を繰り返すことで、種々の放射線を測定する。

測定条件 A では、遮蔽体厚さごとに厚さの異なる容器を用意し、それぞれ測定する。図 3-16 に試験概要を、表 3-9 に測定条件 A による実験の諸元を示す。

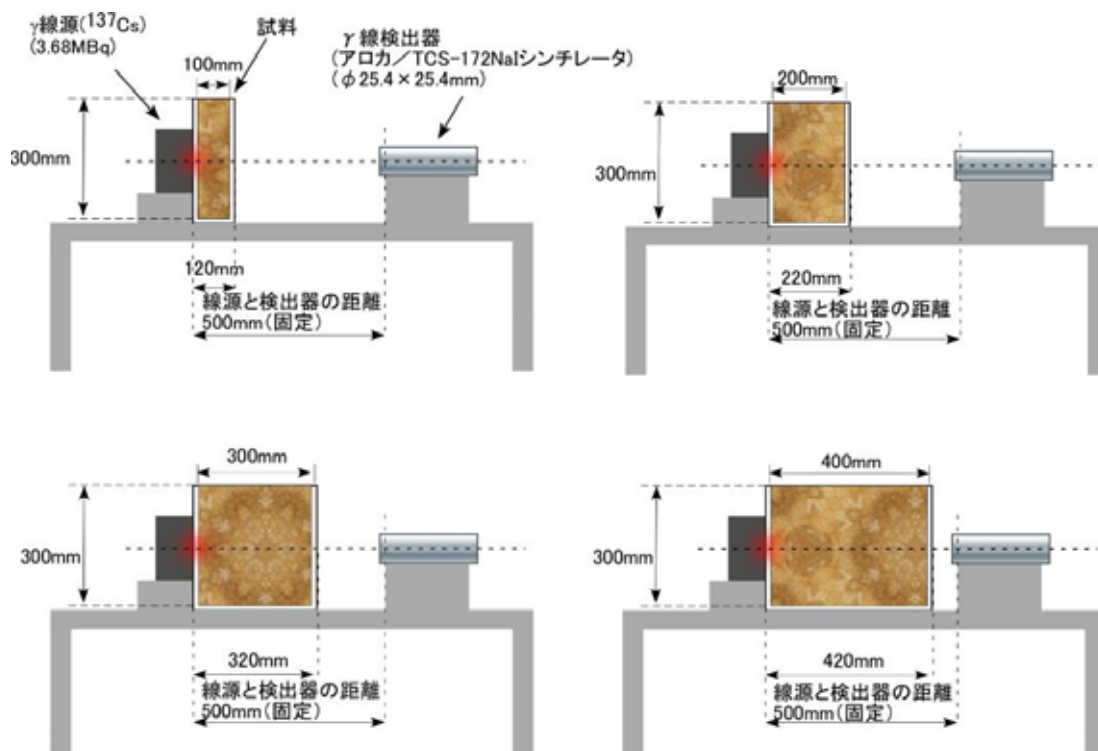


図 3-16 測定条件 A による試験の概要

表 3-9 測定条件 A による実験の諸元

アクリル 容器	透過面		$9.0 \times 10^4 \text{ mm}^2$ (300 mm × 300 mm)
	アクリル密度		1.19 g/cm ³
	板厚		10 mm
	容器①	透過厚さ	100 mm
		容量	9 L
	容器②	透過厚さ	200 mm
		容量	18 L
	容器③	透過厚さ	300 mm
		容量	27 L
装置 配置	容器④	透過厚さ	400mm
		容量	36 L
	地表面からの高さ		1000 mm
	線源と検出器の間隔		500 mm
	線源とアクリル容器の間隔		0

測定条件 B による試験では、同様の容器の個数を変えることで、遮蔽体厚さを変化させ、それぞれ測定する。したがって、各厚さの測定において透過面のアクリル厚さが異なる。図 3-17 に試験概要を、表 3-10 に測定条件 B による実験の諸元を示す。

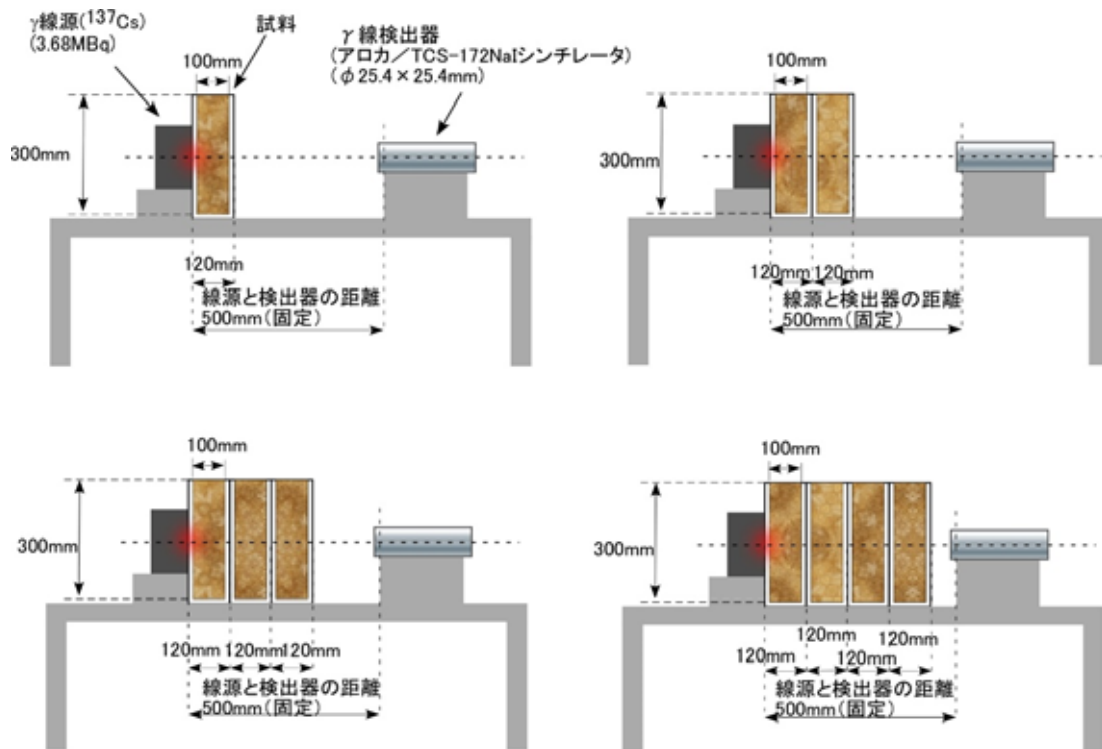


図 3-17 測定条件 B による試験の概要

表 3-10 測定条件 B による実験の諸元

アクリル 容器	透過面	$9.0 \times 10^4 \text{ mm}^2$ (300 mm × 300 mm)
	アクリル密度	1.19 g/cm ³
	板厚	10 mm
	透過厚さ	100 mm
	容量	9 L
	個数	1～4 個
装置配置	地表面からの高さ	1000 mm
	線源と検出器の間隔	500 mm
	線源とアクリル容器の間隔	0

3.2.3 試験結果の整理方法

本試験で取得された結果は、以下の観点を踏まえ整理するとともに、今後 5 年間の研究業務プロジェクトにおいて共有していくことを念頭に、(1)～(3)に示した指標により整理した。

- ・放射線の透過線量の測定値は、実験時のバックグラウンド値も含まれる。
- ・線源線量は線源のエネルギー減衰の他にも設置状況や容器、温度や湿度など様々な要因が作用する。
- ・遮蔽試験の実施時期が異なれば、使用する線源自体のエネルギー低減のために、継続的に測定した試験データ間の比較がやや困難になる場合がある。

(1) 放射線低減率

試料の遮蔽性能を評価する指標として、放射線低減率 R_{rad} を以下に定義する。アクリル容器を透過した放射線のうち、さらに遮蔽体を通過した割合を R とすると、下記の式で示される。なお、透過線量はバックグラウンド（線源無し）の値を引いたものを使用する。

$$R = \frac{N}{N_0} \quad (3.2.2-1)$$

ここに、 N ：試料を充填した状態の透過線量

N_0 ：空容器の透過線量

したがって、放射線低減率は下記の式で示される。

$$R_{rad} = (1 - R) \times 100 = \left(1 - \frac{N}{N_0}\right) \times 100 \quad (3.2.2-2)$$

この物理指標を使用することにより各実験における結果を比率として値を算出することで、放射線源の経時的なエネルギー減衰の影響を排除することができる。

(2) 土の状態量によるガンマ線低減率の整理

ガンマ線のエネルギー低減要因である単位体積あたりの電子の存在割合は、みかけの平均密度と見なす。したがって比重（湿潤密度 ρ_d ）による整理を行った。

(3) 土の状態量による中性子線低減率の整理

前述より、中性子は水素原子との衝突により、運動量保存の法則に従いエネルギーを減衰する。したがって、水分子の存在割合が重要な指標である。これを表す指標として、試料に含まれる水の質量を試料体積で割った水分密度 ρ_m による整理を考える。ここで、水の密度を 1.0 g/cm^3 とすると、水分密度 ρ_m は体積含水率と等価である。ここでは、簡単のため体積含水率を用いて整理した。

$$\theta = \rho_d \times w = \frac{w}{100 + w} \rho \times 100_t \quad (3.2.2-3)$$

3.2.4 試験結果と考察

図 3-18 及び図 3-19 に、遮蔽体厚さ 10 cm における試験結果を示す。これらの結果から、ガンマ線及び中性子線の遮蔽性能に寄与する土の状態量の特定を試みた。検出した放射線の強度は、比較を容易にするために、前章で説明した物質透過中に低減する線量の割合である放射線低減率(%)として整理した。なお、整理結果は土質材料を充填していない空の亚克力容器の透過線量を基準としており、放射線低減率 R_{rad} が 100% のとき透過線量は 0 を示す。

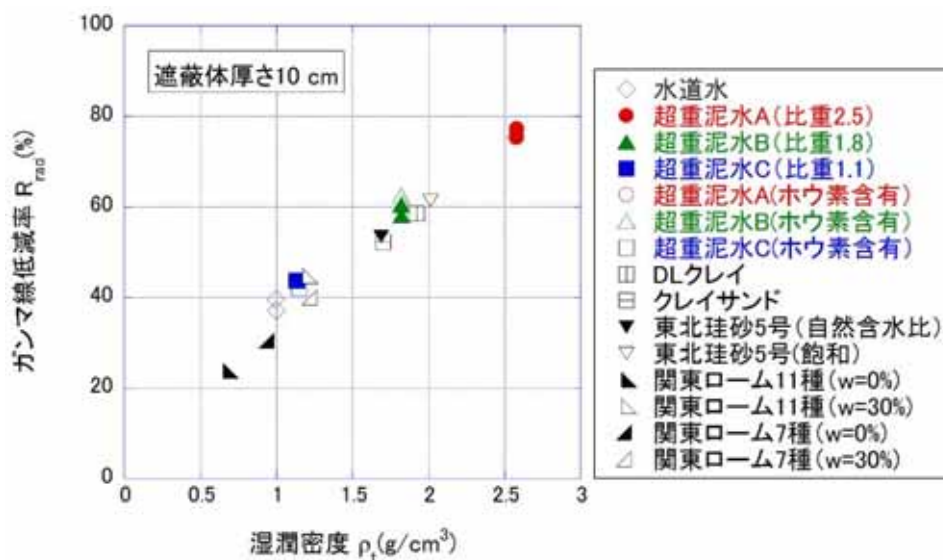


図 3-18 ガンマ線低減率と湿潤密度の関係

図 3-18 より、ガンマ線低減率が遮蔽材料の湿潤密度に対して正比例的に増加することが確認された。電磁波であるガンマ線は、物質中の原子核にある電子との衝突によりエネルギーを低減させるため、電子の存在度が大きい物質、つまり密度が大きい物質による遮蔽が有効であることを示す。ここで、放射線遮蔽における密度とは、試料全体の平均密度であり、土質材料の湿潤密度に相当する。

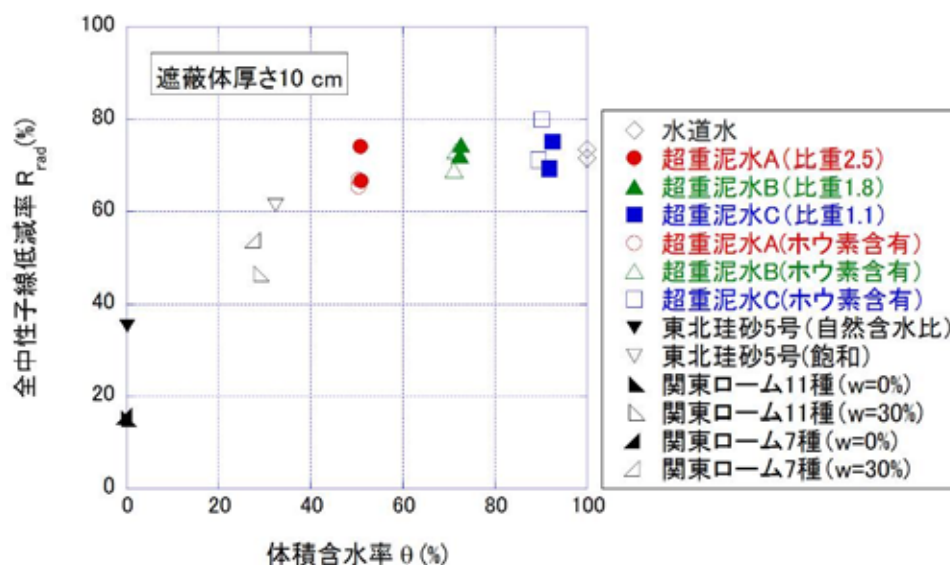


図 3-19 中性子線低減率と体積含水率の関係

一方、中性子線は個別の中性子の粒子線である。したがって、運動量保存の法則により、中性子と質量がほとんど同等である水素原子との衝突が、エネルギーの低減に対して最も効果的である。図 3-19 は水素原子の存在度を水分子として捉えて、体積含水率で整理した測定結果である。

東北珪砂及び関東ロームにおいて特に顕著だが、材料の体積含水率の増加に伴い、中性子線低減効果が大きくなる傾向が確認できる。なお、図 3-19 において確認される値のばらつきに関しては、速度ごとに異なる中性子粒子の物質に対する挙動や各物質固有の熱中性子吸収・散乱断面積が影響していると考えられる。

次に超重泥水の厚さの変化に伴う放射線低減率の測定結果を図 3-20 及び図 3-21 に示す。

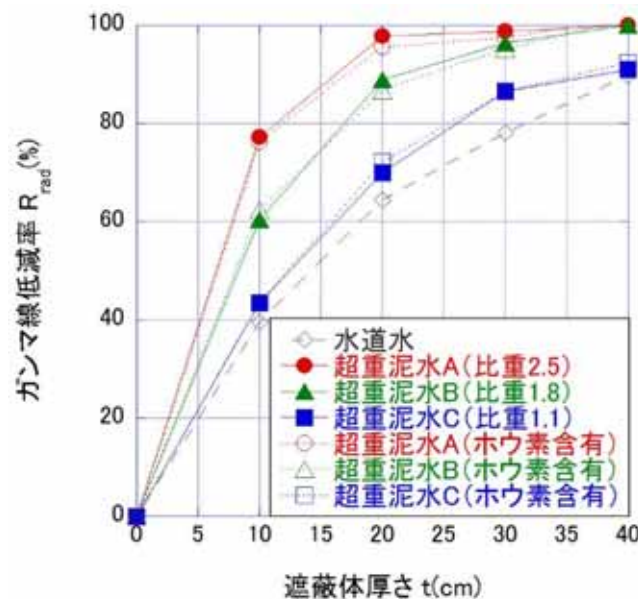


図 3-20 超重泥水に関するガンマ線低減率と遮蔽体厚さの関係

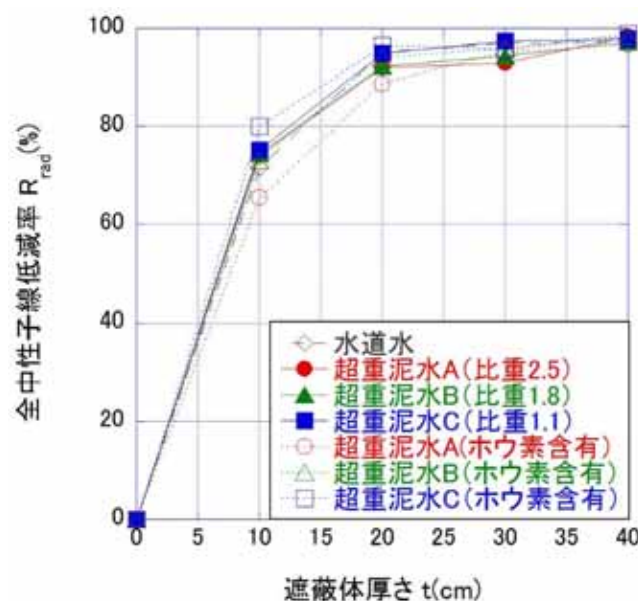


図 3-21 超重泥水に関する全中性子線低減率と遮蔽体厚さの関係

厚さに伴うガンマ線低減率の変化は、前述の湿潤密度との関係に従い、かつ遮蔽体厚さの増加に伴い低減率が増加することが分かる。また、図 3-20 から超重泥水が水道水よりも優れたガンマ線遮蔽性能を有することが認められる。それに対して、図 3-21 より超重泥水の全中性子線低減率は、おおむね水道水と同等の性能を示した。また、遮蔽体厚さの増加に伴い、図 3-18 及び図 3-19 に示した各状態量による低減率の差が、徐々に小さくなることが確認された。したがって、放射線エネルギーの減衰に関して、物質の湿潤密度及び体積含水率と共に、放射線の透過距離が重要な要素であることが分かった。また、他の土質材料に関する厚さに伴う測定においても、同様の結果を得た。

なお、ホウ素含有の効果については、遮蔽体厚さ 10cm の場合、ホウ素を含有する超重泥水は含有しないものに比べて約 75%高い熱中性子低減率を示した。したがって、熱中性子吸収断面積が大きい物質の含有は、熱中性子線の遮蔽に対して有効である。

次に、高比重ブライン流体の放射線遮蔽試験の結果を図 3-22 及び図 3-23 に示す。

図 3-22 より、ガンマ線に対する遮蔽能力は、高比重ブライン流体においても、他と同様の結果を示しており、比重（湿潤密度）の上昇に伴って低減率が上昇している。

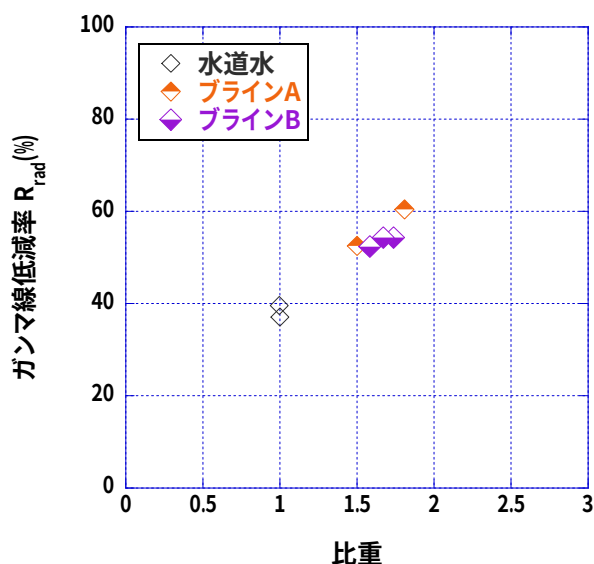


図 3-22 高比重ブライン流体に関するガンマ線低減率と比重の関係

図 3-23 (上) より、高速～速中性子線と全中性子線の低減率は、高比重ブライン流体の種類による差異は、ほとんど認められず、水道水と同程度の遮蔽能力であることが示された。しかし、熱中性子線低減率はそれぞれ値にばらつきがあり、水道水と比較して低減率が高いことが図 3-23 (下) から分かる。なお、高比重ブライン流体Aの低減率が高いことから、塩素(C1)が熱中性子と作用していることが窺える。

一方、高比重ブライン流体Bでは体積含水率の上昇と共に熱中性子線低減率が低下している。これにより、もともとブラインは水道水よりも高い低減率を示していたことから、水分子の中の水素原子との衝突よりも、臭化カルシウム濃度が熱中性子に効果的であることが示された。

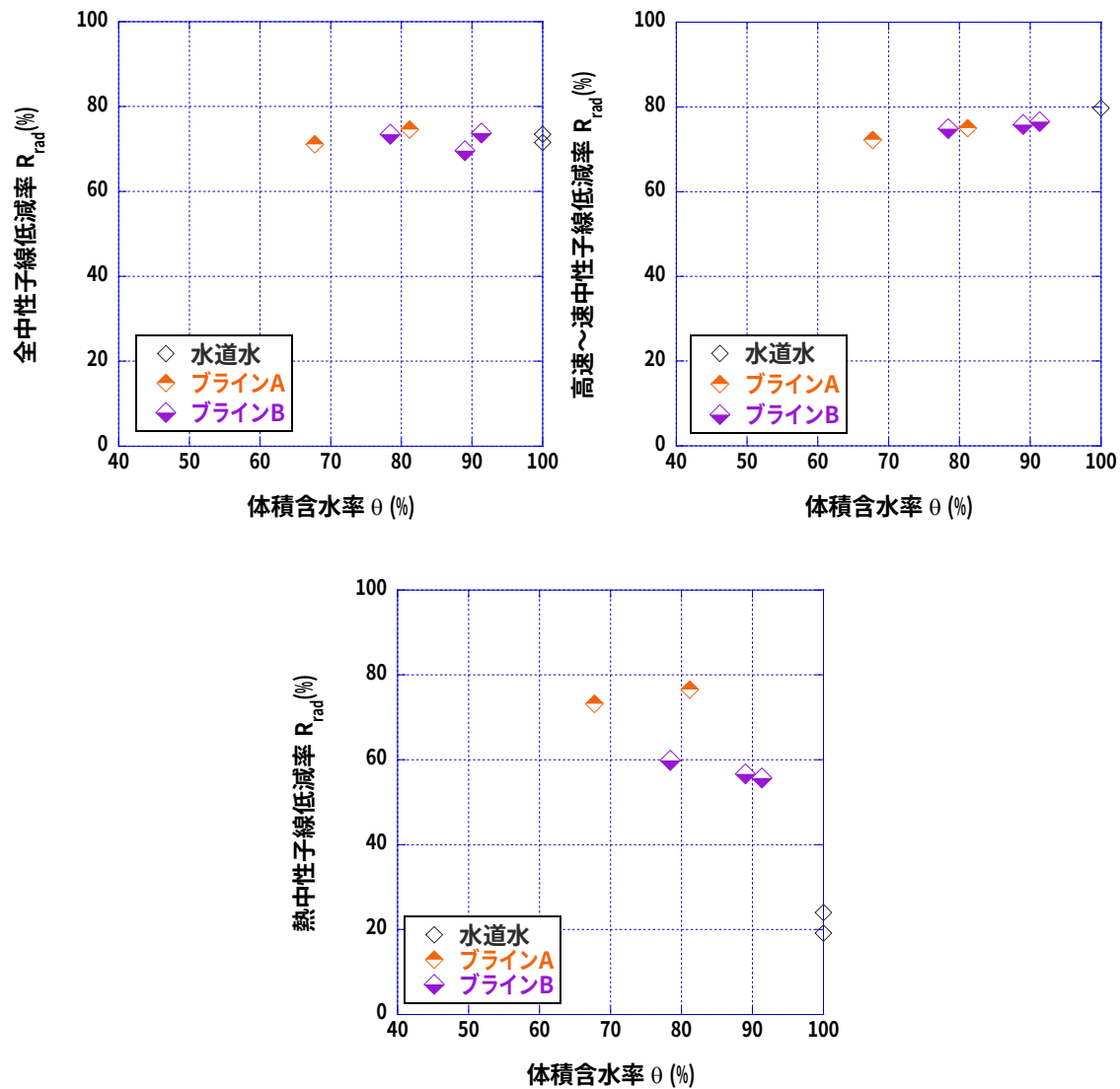


図 3-23 高比重ブライン流体に関する各種中性子線低減率と体積含水率の関係

3.2.5 まとめ

前章までに述べた試験結果は、今後の超重泥水遮蔽材料や覆土材の仕様設計に使用できる基本的なデータベースである。今回の試験結果としての主な結論は以下のとおりである。

- (1) 遮蔽材料が同じ厚さの場合、ガンマ線低減率は土質材料の湿潤密度に正比例する。
- (2) 遮蔽材料が同じ厚さの場合、中性子線低減率は土質材料の体積含水率に伴い増加する傾向が認められる。しかし、複数のエネルギー減衰現象が生じることで、材料ごとに固有の相違や、データのばらつきがやや生じた。
- (3) 高比重である超重泥水は、水道水よりも優れたガンマ線遮蔽性能を有する。
- (4) 高含水である超重泥水は、水道水と同等の中性子線遮蔽性能を有する。
- (5) 厚さ 10 cm において、ホウ素を含有する超重泥水は、含有しないものに比べて約 75% 高い熱中性子低減率を示した。したがって、熱中性子吸収断面積が大きい物質の含有は、熱中性子線の遮蔽に対して有効である。

参考文献

- (1) 原子力災害対策本部 (2015) : 東京電力 (株) 福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃炉措置等に向けた中長期ロードマップ, 2015
- (2) Komine, H. : “Radiation shielding experiments of geo-material for recovery from the Fukushima I nuclear power plant accident”, Geo-Environmental Engineering 2015.
- (3) 齋藤祐磨, 小峯秀雄, 成島誠一, 新井靖典, 水野正之, 氏家伸介, 佐古田又規, 吉村貢, 鈴木聡彦, 井上恵介, 後藤茂: 福島第一原子力発電所の燃料デブリ取り出し・事故由来廃棄物を想定した重泥水・土質材料の放射線遮蔽効果の評価, 第 11 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, p483-488, 2015
- (4) 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
- (5) 稲元祐二, 成島誠一, 長江泰史, 水野正之, 氏家伸介: 高比重変形追従材を用いた放射能汚染貯蔵技術の開発, 第 11 回地盤工学シンポジウム発表論文集, 2015
- (6) H. Komine, “Radiation shielding experiments of geo-materials for recovery from the Fukushima I nuclear power plant accident,” Geo-Environmental Engineering 2015, Concordia University, Montreal, Canada, May 21-22, (2015) (In CD-ROM).
- (7) H. Komine, I. Towhata and S. Narushima, “Environmental geotechnics and education initiatives for recovery from the Fukushima I Nuclear Power Plant accident,” Proc. The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 1983-1986, (2015)

3.3 広域な地下水流動を対象とした調査技術の精度検証と現場試験計画及び地下水流動解析技術の環境整備（再委託先：千葉工業大学）

地盤工学会では、廃炉に向けて図 3-24 に示すような多重防護の提案を行っており、その際に、把握すべき地下水流動に関して、一般土木の地盤調査・解析に比べ検討しなければならない課題が3点あると考えている。

以下にその3点の課題を整理する。

- ①（遮水壁等の建設工事を含めると、原子炉施設内への地下水流入出をより精緻に予測することが求められることから）個々の調査技術の分解能や手法の確からしさを向上させること及び主要な水みち等の構造や性状の空間的な不均質性を精度よく把握すること
- ② 最終的には核種移行を評価することが必須となるため、物質移行の調査解析技術を含めた体系を整えること
- ③ 廃炉までの長期間にわたるモニタリングを実現する観測技術を整備すること

以上の課題を踏まえ、現状から廃止措置までの長期間に亘る地下水環境や作業環境の状況調査と将来予測を行うため、本年度は地下水の流向・流速を測る試験装置（流向・流速計等）の測定精度を検証するための室内土層実験装置の設計・制作を行うと共に、学生も含めた若手技術者を対象に講習会を実施した。また、次年度実施予定のボーリング孔を用いた現場試験計画を策定した。さらに、広領域・長期間の地下水環境変動予測技術を開発に向けて、地下水理のモデル化及び浸透流解析・物質移行解析のためのPCクラスタと解析・図化ソフトの環境整備を実施した。



図 3-24 福島第一原子力発電所周辺の地下水流動

3.3.1 室内土層実験による実流速の測定精度の検証

(1) 概要

地下水による放射性物質の移動は、間隙内の水の流れに大きく依存する。しかし、現状の地下水解析は、ダルシーの法則にしたがった仮想的な流速 v と透水係数 k をもとに扱われている。実際には、水は土粒子間の連続した間隙内を流れるが、現状は土の間隙率 n を用いて実流速 v' を v/n として求めている。このため、透水係数が小さくなると、間隙の連続性などの影響が実流速の推定精度に及ぼすことが考えられる。そこで、地下水浸透環境を室内規模で模擬的に再現し、地下水の流向や流速の計測原理・試験方法及び評価方法を分かり易く指導していくための浸透模型水槽（土層実験水槽）を製作した。併せて、初級者向けの実験手順書を作成し、数日の期間で実験講習会を実施した。

(2) 浸透模型実験の概要

設計・製作した浸透模型水槽の設計図面を図 3-24 に示す。

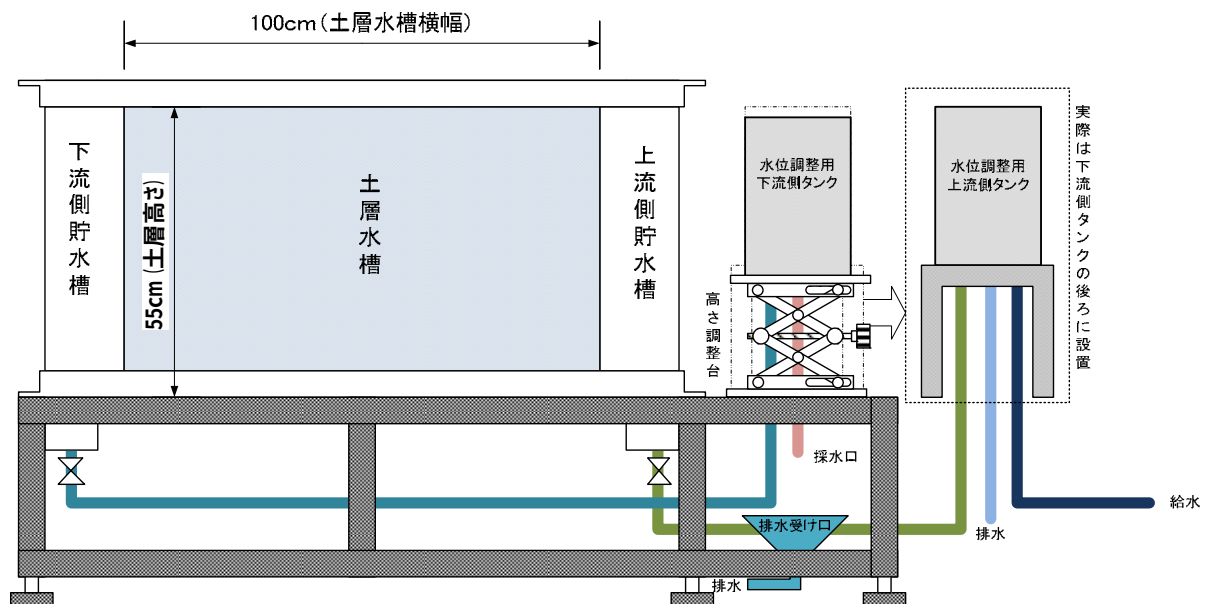


図 3-24 浸透模型水槽

この水槽の両側の貯水槽の水面を制御することにより、以下のように動水勾配を与える。

- ・ 土層水槽の動水勾配は、両側貯水槽の水面高さの差と 100cm で固定されている土層水槽の横幅より求めることができる。
- ・ 土層水槽の両側の貯水部の水位は、貯水部と連結した水位調整用タンク中央に配置した排水管の高さと同じであり、上流側のタンクの水位（上流側貯水槽）は水槽高さ 50cm で固定されているため、下流側のタンク下の高さ調整台のダイヤルを回転することで水位差を作ることができる。

水位差は、両貯水槽の水面をスケールで計測することで求める。



写真 3-1 浸透模型水槽

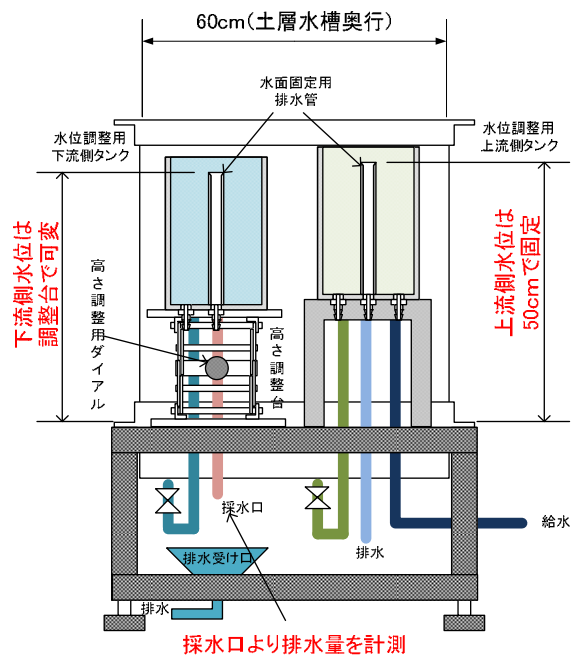


図 3-25 タンク水位差による動水勾配

水槽内の均質な土層は、以下の手順で作成した。

- ① 下流側タンクを上流側タンクと同じ高さにして水槽の水面を一番高い状態にする。
- ② フルイに土層に使用する材料を入れて、フルイで振りながら水面に落とす。
(土粒子は水中を自由落下するため、気泡を取り込みにくくなる。)
- ③ 水槽内に土粒子の層が均一に高さ 5cm にする。
- ④ 丸棒を使用して水槽内の土粒子を締め固める。このときムラができない様にする。
- ⑤ 土粒子の層が水槽の高さ 55cm になるまで②～④を繰り返す。

作成した土層を写真 3-2 に示す。



写真 3-2 浸透模型水槽の土層

(3) 講習会の実施

前述の実験装置を使用した実験講習会を2016年3月29日に開催し、学生18名を含む総勢49名の参加者があった。講習会の風景を写真3-3に示す。



写真 3-3 講習会風景

講習会での試験結果は、水位差：1.1cm、排水流量：225cc/min=3.75cc/sec、水槽断面：2,967cm²となった。したがって、水槽の流速（ダルシー）は $v_1=1.26 \times 10^{-3}$ cm/sec となり、流向流速計の値は $v_2=3.83 \times 10^{-3}$ cm/sec となった。これから、 $v_1/v_2=n/100$ と仮定すると、間隙率が $n=33\%$ となる。なお、講習会開催にあたり、事前に水槽に砂を投入して土層を作成した時に、同様の手順で作成した供試体で間隙率を測定した。その結果は $n=40\%$ となっており、多少の誤差はあるがほぼ一致した。

(4) まとめ

基本的な地下水の流向・流速を測る試験装置の測定精度を検証するため、室内土層実験を実施した。今後は、ほかの測定装置を用いて計測してみると共に、核種移行の評価に大きく影響するダルシーの法則による流速と間隙内を流れる実流速の関係について、基礎的な検討を実施していく予定である。

3.3.2 実験井戸による現場試験計画

(1) 概要

地下水の賦存環境及び物質の移行特性を調査・観測する経験を通じて、次世代の技術者を育成する環境を整える必要がある。このため、実験井戸を用いた現場試験計画を作成するにあたり、大きく以下の3点について検討した。

- ① 課題・条件を踏まえた基本仕様の作成
- ② 試験場所の選定と背景情報の整理
- ③ 概要試験計画の作成

(2) 課題・条件の整理と基本仕様

関連分野の専門家及び有識者との意見交換を通じて、主要な課題・条件を整理した。さらに、先の結果を踏まえて試験計画の基本仕様を検討した。

【課題・条件】

- ・ 個別技術・手法の技術修得はもとより、計画立案から調査・解析・評価までの体系的な考え方・技術が習得できる環境とすること。
- ・ 参加者が地下環境を推察しモデル化する等、科学的な知見やデータに基づいて将来を予測することが可能な環境とすること。
- ・ ここで整備された施設が、大学等の教育課程に取り込まれ授業計画（シラバス）の一環として恒常的に活用可能となるようにすること。
- ・ 学生を含む若手人材に知識や経験のレベルに応じて選択して受講できる環境を整えること。
- ・ 基本的な理論や原理に始まり、室内実験、単一孔での調査及び複数孔での調査と空間スケールの違いと地盤の不均質性を体験できる一連の環境とすること。
- ・ 受講者が実験環境を整える／実験を再現することができること。

【基本仕様①：試験場所】

- ・ 試験場所については恒常的に利用でき、学生や若手社会人が集える大学や研究機関で首都圏中心部に近く公共交通手段で容易に来訪できる場所とすること。
- ・ 井戸掘削や試験を実施するための十分な広さが確保できること。
- ・ 浅層に泥岩・シルト岩層、礫岩層、砂岩層が分布し地下水面が比較的浅く被圧された帯水層が分布すること。
- ・ 地質・地質構造及び地下水流動に関わる既存情報が整えられていること。
- ・ 不法に侵入し、悪戯などにより設置した機材が損傷しない環境が整えられていること。

【基本仕様②：試験内容】

- ・ 地盤中の地下水の挙動を理解する上で、受け皿となる地質・地質構造（帯水層構造）、地下水の流動を間接的に予測するための水位分布や地盤の透水性、直接的な流向や流速の計測、水質の把握及び時間的な変化の観測等を組み合わせた内容であること。
- ・ 空間規模による地盤の不均質性やデータの扱い方を理解するために、単一孔と複数

孔での試験が一連のプログラムの中で実現できること。

- ・ 理論と調査手法及び調査を実現するための機器の構造や機能を平易な言葉で分かやすく説明する資料を準備すること。
- ・ 試験井戸は種々の調査に対応でき、長期間に繰返し利用ができる仕上げとすること。
- ・ 対象地域の地質を正確に把握し後々も確認できるようにするために、オールコアによる 100%の岩芯採取に努め、初期状態を長期にわたり保存できるようにすること。
- ・ 調査計画における議論の経緯など意思決定のプロセスを記録に残し、追跡性を担保すること、特に井戸掘削時にしか実施できない調査等は映像記録として残すこと。

(3) 試験場所の選定と背景情報

1) 試験場所の選定

限られた時間の中で H28 年度に試験環境を整えることを前提とし、(2)の条件に照らして複数の候補地点を対象に交渉を進めた。結果、学校法人日本大学文理学部のキャンパスが利用について同意を得ることができた唯一の地点であった。

なお、当該候補地点は、地形、地質・地質構造、水理に関する既往情報が整えられ、試験場所を整備する上で有益であるとともに、キャンパス内で選定された試験場所は、図 3-26、写真 3-4 及び写真 3-5 に示すとおり、試験に必要な十分な広さが確保でき、周辺は駐車場で近傍まで車両による資材運搬が可能である等、利便性に富む点を評価した。



図 3-26 試験場所候補地点（日本大学文理学部）



(a) 南東方向から北西方向を撮影



(b) 北北東方向から南南西方向を撮影

写真 3-4 試験候補地点周辺の写真



写真 3-5 上空からの試験候補地点周辺の写真

2) 試験場所のバックグラウンド情報

- ・地形（古地形）；

図 3-27 に示すように日本大学文理学部のキャンパスは、北沢川（図の点線）が作る段丘状の標高 40m 前後の平坦地に位置する。



図 3-27 試験場所候補地点（日本大学文理学部）周辺の地形

- ・地質・地質構造；

図 3-28 の柱状図に示すように、当地域の地質は、上位からローム層、礫層、シルト質砂層及び砂層（上総層群）から構成される。但し、ローム層の上に旧河川によって供給された淘汰の悪い礫からなる沖積層が分布することがある。最下位のシルト質砂層及び砂層は、軽石層を含む⁽¹⁾⁽²⁾。

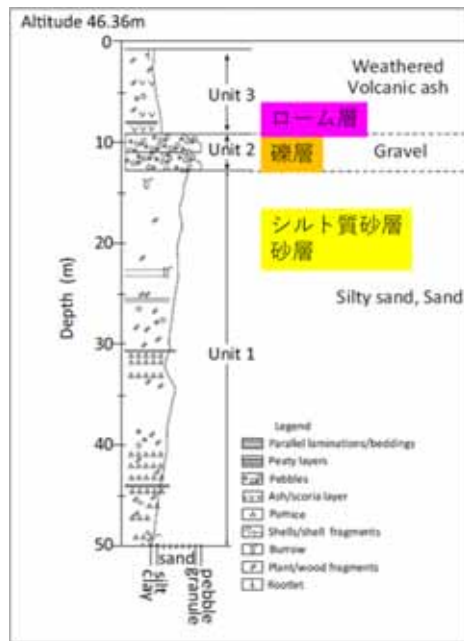


図 3-28 代表的な地質柱状図 (Takemura et al. 2016 に加筆)

・ 水理特性；

当該地域では直接的な透水性に関わる情報が得られていないことから、これに関連する物性値として、比抵抗、含水比、空隙率、粒径分布を図 3-29 に示す⁽¹⁾。

最上位のローム層は、比抵抗は比較的低い値を示すが、含水比、空隙率とも比較的高い値を示す。本層の中で地下水位 (GL-5m 程度) が確認されている。礫層については、比抵抗が高いことから、多くの水を含むことが分かる。最下位のシルト質砂層及び砂層の比抵抗値は上位 2 層の中間的な値を示すとともに、含水比、空隙率とも比較的低い値を示す。なお、本層に含まれる軽石層は比較的高い透水性を有する可能性がある (例：図 3-28 の柱状図、図 3-29 における水理特性の GL-30m 付近)

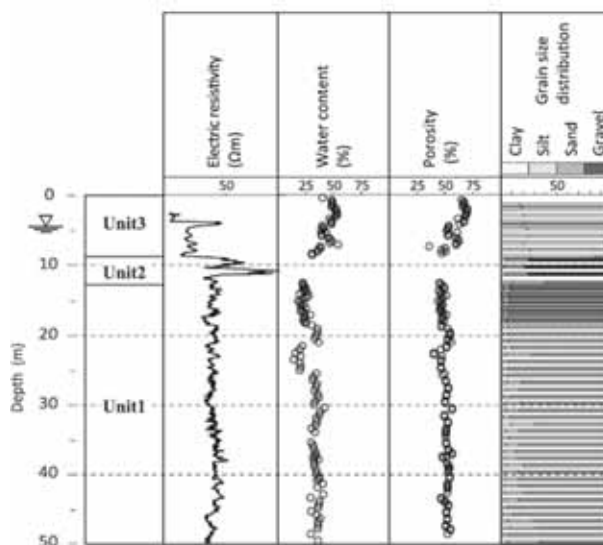


図 3-29 岩相ごとの水理特性 (比抵抗、含水比、空隙率、粒径分布)

- ・場の概念モデル；

日本大学文理学部の周辺を含む領域を対象に実施した地下水流動解析の結果、北沢川に向かって南下する地下水流動が推定された（図 3-30～図 3-32）。

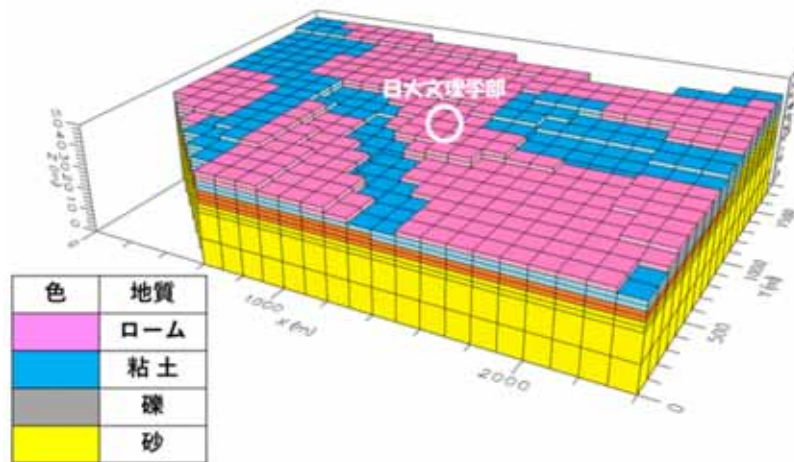


図 3-30 地質構造モデル

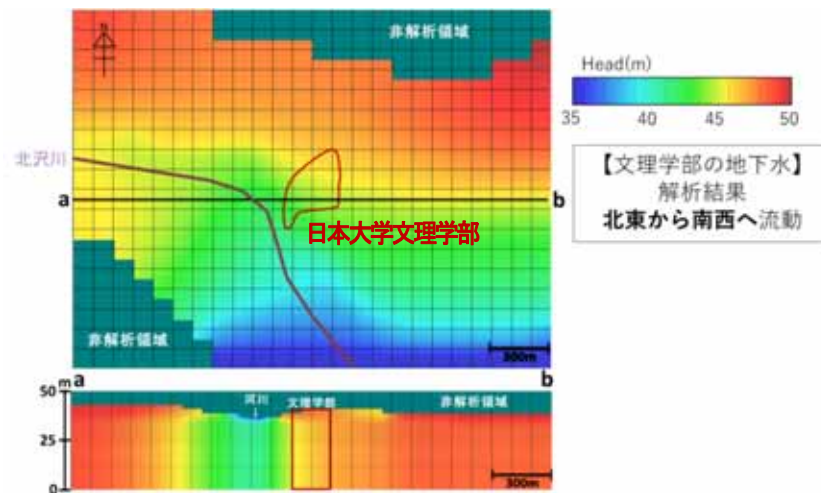


図 3-31 水頭分布の解析結果

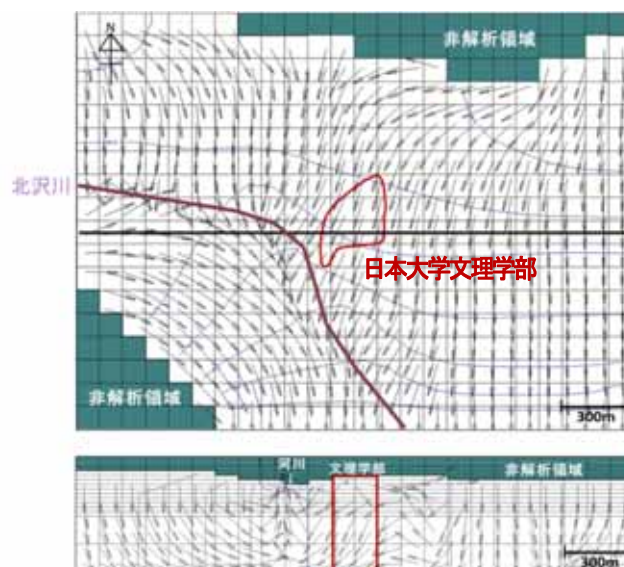


図 3-32 地下水流動に関する予測結果の例

(4) 試験計画

1) 試験項目と選定根拠

試験項目は、標準的な地盤の地下水調査に加えて、物質移動挙動を把握する基礎知識を習得する環境とするため、地質・地質構造、地下水の流動と地球化学組成及び物質移動の4分野を包含したものとする。

抽出した試験項目と選定根拠を表 3-11 に整理して示す。なお、本件では同図中に◎で示した項目をプログラムに採用し、試験計画を具体化した⁽³⁾。

表 3-11 試験項目一覧

項目	試験・検層名	測定する物理量	得られる物性	適用範囲			採用項目
				保護管	孔内水		
				有	有	無	
調査項目 (井戸仕上げ前)	電気検層（ノルマル法）	見掛け比抵抗 自然電位	地層の層厚分布 挟在層位 帯水層位・難透水層位	×	○	×	◎
	密度検層	γ 線の散乱強度	地盤密度	○	○	○	
	孔径検層（キャリパー検層）	孔径	孔径 概略地質情報	×	○	○	
	温度検層	温度	地盤温度、地温勾配 湧水・温泉湧出地点	○	○	○	
	速度検層 （ダウンホール法・サスペンション法）	P波伝播時間 S波伝播時間	地盤のP波速度 地盤のS波速度	△※1	○	△※1	
	地下水流動層検層 （電位差方式）	比抵抗値の時系列変動	地下水流動層位	×	○	×	◎
調査項目 (井戸仕上げ後)	地下水流動層検層 （流量測定方式）	自然条件、注水／揚水時 における流量の時系列変動	地下水流動層位 概略の透水性	×	○	×	◎
	透水試験	単孔平衡水位（水圧） の時系列変動	対象孔近傍の透水係数	×	○	×	◎
	流向流速測定 （電位差／温度）	比抵抗値の時系列変動 温度の時系列変動	地下水流向流速	×	○	△※2	◎
	水位（水圧）の連続観測	水圧の時系列変動	地下水位 水圧変化に対する連続性	△※3	○	×	◎
	孔間透水試験（揚水試験）	複数孔平衡水位 （水圧）の時系列変動	対象孔間の透水係数等 空間分布	×	○	×	◎
	トレーサー試験（地下水流動特性対象）	観測井までのトレーサー到達時間 トレーサー濃度の時系列変動	地下水流向流速 有効間隙率、分散係数 地盤の不均質性	×	○	×	◎
	トレーサー試験（物質移行特性対象）	観測井までのトレーサー到達時間 トレーサー濃度の時系列変動	地盤の物質移行特性 地盤の不均質性	×	○	×	

2) 試験対象層

地下水の流動や物質移動特性に関わる現場調査の基礎知識を習得するためには、数時間で調査が完結し、繰り返し利用できる環境が望まれる。また、数 m の孔間距離でトレーサー試験を実施することを踏まえると、0.02～0.04cm/s の自然流速または制御できる環境が好ましい。なお、採用したボーリング孔内での一通りの調査を実施するためには、10m 程度の深さを必要とする。

以上の点を踏まえ、前述の(2)で記した試験場所候補地点の地質・地質構造と水理特性に関わる既存情報から主な試験対象層について検討した。この結果、図 3-28 に示した地質区分のシルト質砂層・砂層が被圧滞水層で透水性も比較的高く、深度も上記の条件を満たすと判断した。その中でも、透水性に重みをおき、砂層に挟在する軽石層及び粗粒砂部分を試験対象として、複数のストレーナ区間を設置する計画とした。

3) 試験孔の配置

試験孔は、平面的には図 3-34 に示した同心円状または格子状の概念を基本とし、最大 4 本で地盤の不均質性も把握できる配置とする。

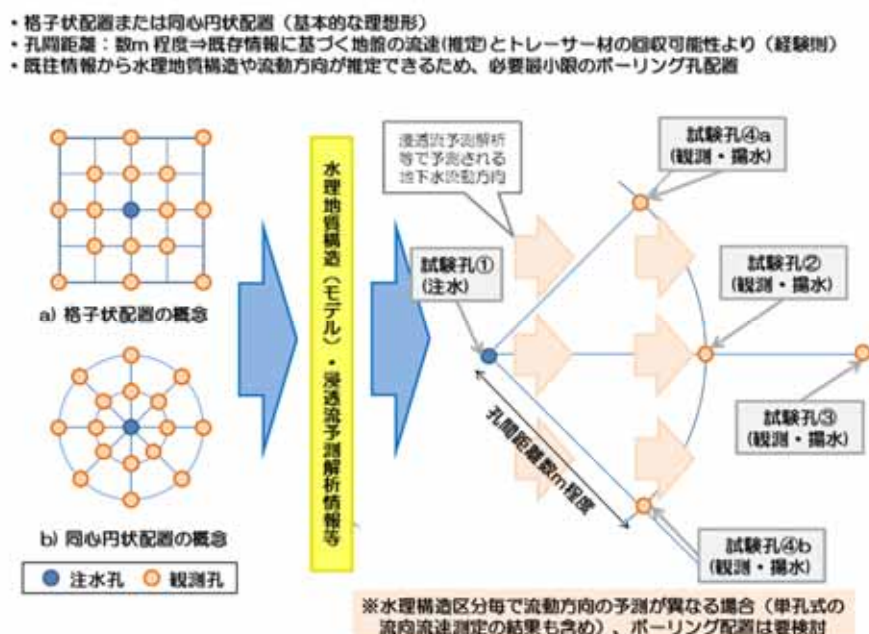


図 3-33 試験孔の配置概念

なお、実際の配置は立地条件に大きく左右されることに加え、孔間距離等は調査の進展により得られる地盤の諸特性に関わる情報を加味して判断する必要がある。このため、具体的な配置は 1 番目に掘削するボーリング孔（試験孔）の情報を踏まえて段階的に判断する。なお、1 本目のボーリング孔は以下の①～③に配慮し、写真 3-5 に赤枠でマーキングした地点を候補に具現化する。

- ① 試験場所候補地点の形状
- ② 数 m の間隔で直線的に 3 本を配置できる距離の確保
- ③ 同心円または格子状の配置に基づく異なる方向への配置

4) 試験孔の仕様

試験孔は前述したとおり、最大 4 本で計画し、1 本ずつ段階的に掘削していく。2 本目以降の掘削では、既存孔における水位（または水圧）を連続観測し、掘削中の応答を確認するとともに、水みちの連続性を把握する情報として活用する。なお、既存情報から試験孔は裸孔での自立は困難と判断できるため、全てを井戸仕上げとする。また、全ての試験孔は揚水孔と観測孔として利用できる状態とすること、また上下区間と適切に遮断された複数のストレーナ区間とするためのシール材充填（孔壁とのクリアランスの確保）に配慮し、φ 150mm 程度の孔径で掘削し、VP75（または VP100）の塩ビ管を用いて井戸仕上げとすることを基本とする。

掘削長については約 30m を基本とする。これは、被圧滞水層と想定される砂層の出現深度が G. L. -10m 前後と想定されること、同層の平衡水位が G. L. -数 m から -10 数 m で揚水時

の水位低下量を確保することに鑑み、砂層を 20m 程度掘削する考えに基づく。

図 3-34 に試験孔の仕様と試験内容の概念を示す。

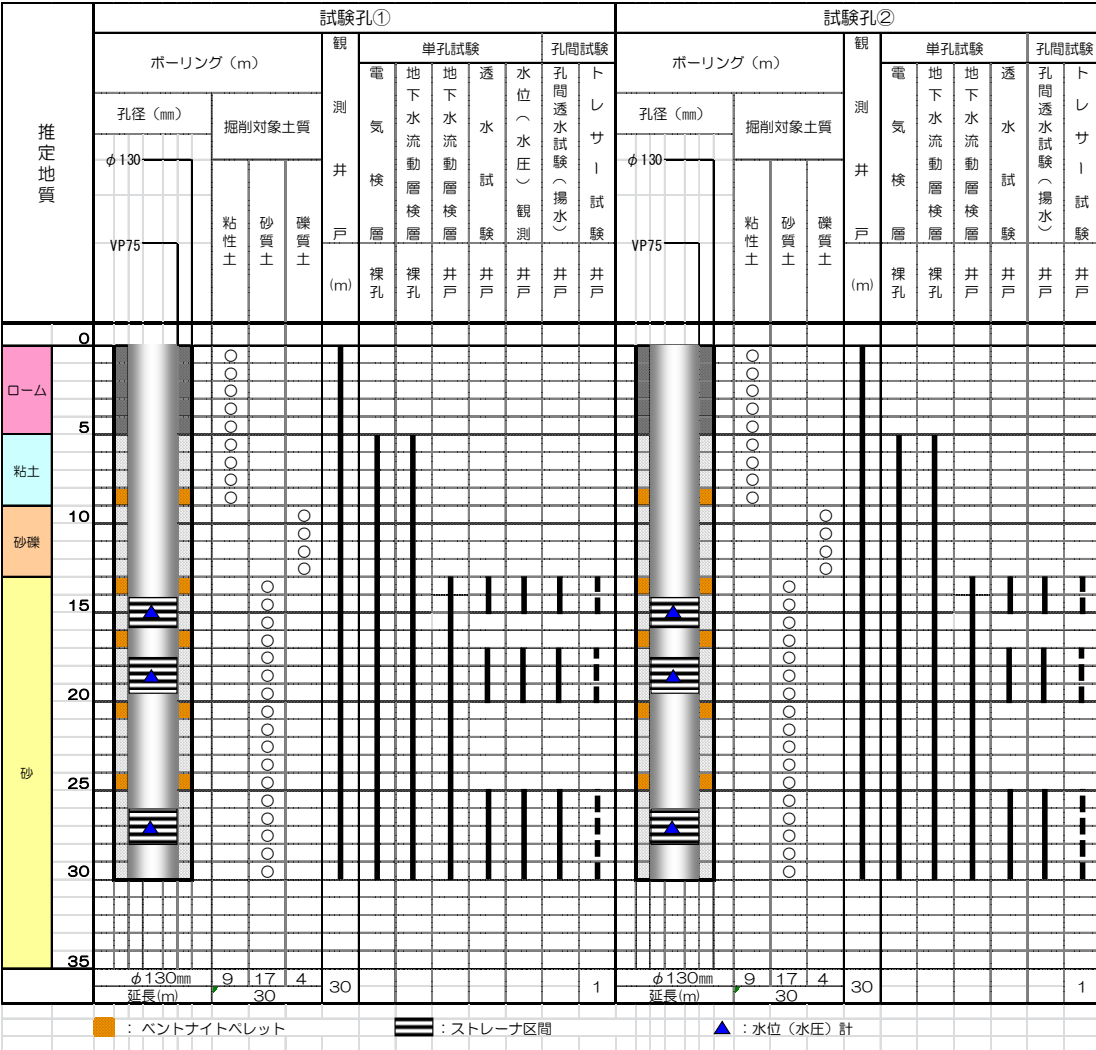


図 3-34 試験孔の仕様と井戸仕上げの概念

5) 掘削方法

掘削方法の選択も試験孔の仕上り品質や環境影響を考えると重要な検討課題である。試験場所の地質情報等を鑑みつつ、オールコアリングを基本に孔壁の仕上がり状態を良好に保ち、効率的に掘削することが望まれる。掘削方法は、技術的な確実性に加えて、今後、明確になる予算や時間の諸条件を鑑みつつ選択する。なお、現状は表 3-12 に示した方法から選択する計画である。

表 3-12 掘削方法の選択肢

項目	ロータリー式	パーカッション式	ロータリー式パーカッション	ダウンザホールハンマ式
ビット保持	ドリルロッド	ワイヤーロープ	2重管ロッド	ドリルロッド
掘削作用	孔底をビットで回転切削	孔底をワンビットで打撃	孔底をビットで回転切削	孔底をハンマビットで打撃
掘り屑搬出	泥水／その他で循環	ベアによる採取	主に水を循環	空気圧送で井外搬出
保孔方法	口元から泥水／気泡を注入	先端ビットより泥水噴出	ケーシング	ケーシング
掘削深度	1000m	300m程度	300m程度	200m程度
掘削径	66～700mm程度	100～800mm程度	60～125mm程度	125～600mm程度
仕上がり径	50～550A程度	50～750A程度	50～100A程度	125～600A程度
適用地盤	未固結堆積層 岩盤玉石層にやや不適	未固結堆積岩・軟岩層 軟質地盤には不適	岩盤（軟岩～硬岩） 未固結堆積層	岩盤（軟岩～極硬岩） 未固結・崩壊層には不適
コア採取	○	×	△	×

6) 試験手順（試験フロー）

上記の 1)～5)に記した検討結果を踏まえ、基本とした考え方を以下に整理する。

- ・ 地形・地質構造、水理特性、地球化学特性及び物質移行特性を一連の調査で包括的に実施し、核種の移行を吟味できる統合的な調査を経験できること。
- ・ 試験場所の不均質性を把握し、単孔と複数孔での試験データの代表性や影響範囲の違いを認識するため、単一孔と複数孔での試験を組合わせた試験内容とすること。
- ・ 裸孔では崩落の可能性が高いため、井戸仕上げ前(掘削直後)は泥壁等を洗浄せず、地質構造や流動層の検出が期待できる必要最低限の調査試験項目を配置する。
- ・ 試験全体の品質と合理性を担保するため、調査の進展に合わせて得られたデータを段階的に吟味し、次の手順を判断していく進め方を採用する。
- ・ 試験孔の掘削においてはコア採取率の向上と孔壁の仕上りを優先的にとりくむ。
- ・ 各ストレーナ区間が適切に遮水されていることを確認するため、孔壁とケーシングの隙間に水圧計等を設置し、地下水の回り込みや漏洩を観測する。
- ・ 試験終了後、孔内にはストレーナ区間毎に水位計または水圧計を設置し、次の試験孔掘削時の圧力応答を観測し、連続性の評価に関わる情報として活用する。

(5) 次年度の工程

次年度の試験孔の掘削、及び同孔を利用した調査までの工程を表 3-13 に示す。

表 3-13 工程表

項目	時間															
	1ヶ月目				2ヶ月目				3ヶ月目				4ヶ月目			
	第1週	第2週	第3週	第4週	第1週	第2週	第3週	第4週	第1週	第2週	第3週	第4週	第1週	第2週	第3週	第4週
実施計画書作成																
現場環境整備																
現場機材搬入																
試験孔①の掘削																
電気検層																
地下水流動層検層（電位差）																
井戸仕上げ＋洗浄																
地下水流動層検層（流量）																
透水試験																
流向流速測定																
水位（水圧）連続観測																
資材撤去と移設																
試験孔②の掘削																
電気検層																
地下水流動層検層（電位差）																
井戸仕上げ＋洗浄																
地下水流動層検層（流量）																
透水試験																
流向流速測定																
水位（水圧）連続観測																
孔間試験準備																
孔間透水試験																
トレーサー試験																
データの詳細解析																
データセットの作成																
資材撤去																
報告書作成																

(6) まとめ

これらの検討結果から、次年度の実験井戸による現場試験では、以下の4項目の仕組みを提示できるような試験となるように計画する。

- ① 地盤調査技術の確からしさを室内と現場の環境を用いて吟味できるデータ品質を確保すること
- ② 単一孔試験から複数孔試験と段階的なアプローチにより地下水場を定量的に把握すること
- ③ 核種移行評価のために、トレーサー試験を実施内容に組み込み、収着・吸着等の現象を定量的に把握すること
- ④ 長期モニタリングに備えた基本的原理や将来的な課題を検討できる環境とすること

3.3.3 浸透流解析・物質移行解析のための環境整備・構築

(1) PC クラスタの整備

3次元での浸透流解析・物質移行解析を広域で扱うには、通常のPCでは容量と計算速度の問題が生じる。そこで、PCクラスタを導入し、メモリー容量を増設し、並列化処理により速度を向上させる計算環境を構築した。写真3-6にPCクラスタの設置状況を示す。



写真 3-6 PC クラスタ

Dtransu-3D 導入前に、姫野ベンチ (Fortran90 サイズ:M) でベンチマークテストを行った。表 3-14 に計算速度 (単位:MFLOPS) を示す。なお、今回テストに使用したのは athena と名前を付けたものである。

表 3-14 計算速度

core	8	16	32	64	備考
athena	35644	38358	53144	—	Xeon E5-2667 v3 / Gigabit / OpenMPI
xeon v2	31466	39826	77283	163076	Xeon E5-2650 v2 / Infiniband / IntelMPI
xeon v3	30029	44807	98953	—	Xeon E5-2697 v3 / Infiniband / OpenMPI

*参考として Infiniband を使用したシステム構成のベンチマーク結果を示す

テストの結果、8core から 16core に増やしても目立った速度の向上はない。また、32core にすると速度は向上するが、Infiniband がないと効率はあまり上がらない。すなわち、ネットワークを Infiniband に変更することで、ノード間通信を行うプログラムに関しては、性能向上が期待できる。なお、このとき冷却ファンの騒音が 55～75dBA 程度となり、研究室で解析を行う場合、騒音を減少させる必要があることが確認されたため、次年度の課題とした。

(2) 浸透流解析・物質移行解析

3次元飽和・不飽和塩水侵入解析を対象に、導入した Dtransu-3D の基本性能を把握した。今回は、1node、2CPU、8core(=16core)の並列化で計算した。これは、現在のシステム構成では、2node で 32core まで計算が可能な構成であるが、ノード間の通信速度がボトルネックとなっている。このため、最大の効率ができる 16core でコンパイルし、解析を実施した。

1) 解析モデルと解析条件

密度依存を考慮した3次元飽和・不飽和解析例として、沿岸部の帯水層で3次的に揚水を行った場合の淡水側への海水（塩水）侵入についてモデル解析を行った。図 3-35～図 3-36 に解析モデルと境界条件を、表 3-15 に入力物性値を示す。難透水性層で分けられた上部帯水層と下部帯水層で揚水を行い、各帯水層における海水侵入の解析を行った。

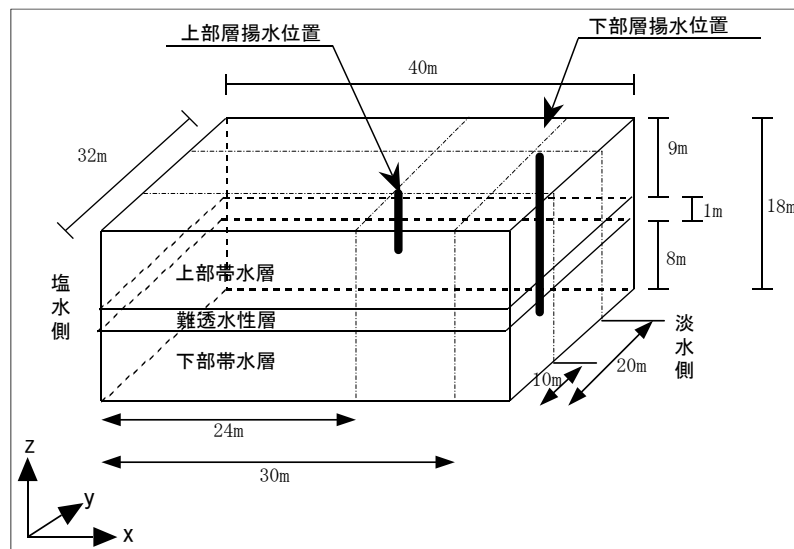


図 3-35 3次元解析モデル概念図

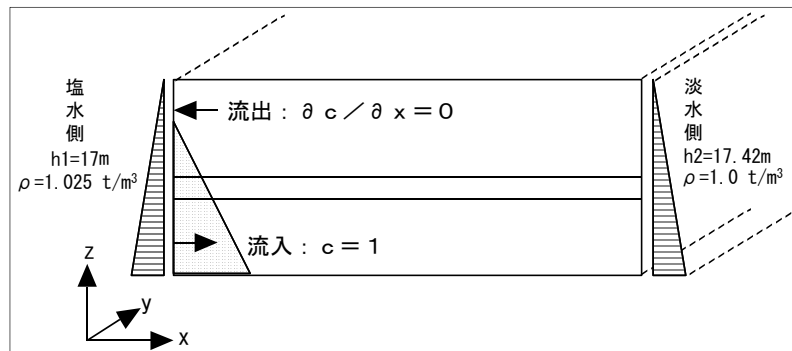


図 3-36 境界条件

表 3-15 入力物性値

帯水層材質	ガラス球
透水係数 (cm/sec)	3.5
有効間隙率	0.406
淡水密度 (g/cm ³)	1.000
塩水密度 (g/cm ³)	1.025
縦分散長 (cm)	0.2196
横分散長 (cm)	0.0050
分子拡散係数 (cm ² /sec)	0.00001

塩水側は塩水水位で 17m（淡水水位で 17.425m に相当）、淡水側は淡水水位で 17.42m の静水圧状態に設定した。揚水時は、上部帯水層で揚水部に相当する節点の水頭を 16m (x=24m、y=10m、z=10~14m 区間) に、下部帯水層では 17m (x=30m、y=20m、z=1~5m 区間) に水頭固定し揚水条件をモデル化した。解析の初期条件は、水頭分布は静水圧で静止状態、濃度分布は全領域でゼロ（淡水）とした。また、要素分割は x、y 方向（水平方向）を 2m ピッチとし、上部及び下部帯水層は z 方向（鉛直方向）を 1m ピッチ、難透水性層は 50cm ピッチに分割し、節点数 7140、要素数 6080 とした。また、解析時間間隔は 1 時間として 3840 ステップの非定常解析を行った。

2) 解析結果

図 3-37 に揚水開始後 (a) 40 日、(b) 80 日、(c) 120 日、(d) 160 日における塩水濃度分布の経日変化を示す。

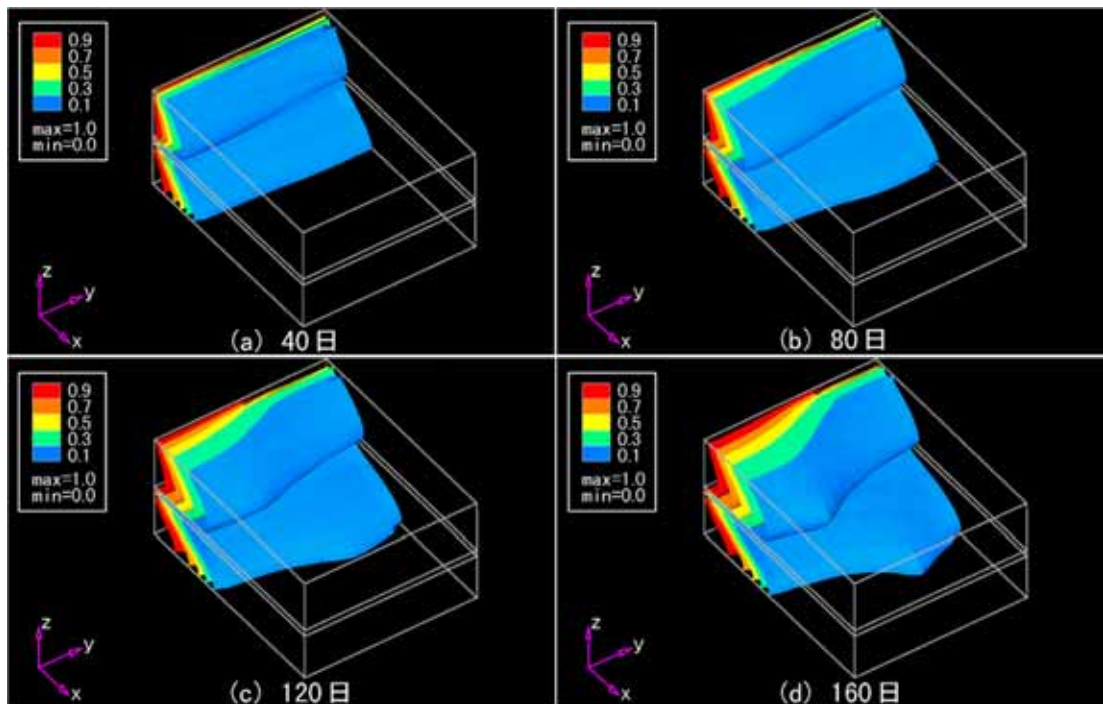


図 3-37 塩水濃度分布経日変化図

各色の面が等塩水濃度面を示し、飽和濃度 1.0 に対して赤(0.9)、オレンジ(0.7)、黄緑(0.5)、緑(0.3)、水色(0.1)の等塩水濃度面を示す。また、黄色の太線が上部帯水層の揚水位置を、緑色の太線が下部帯水層の揚水位置を示している。

水色の濃度 0.1 の等濃度面の形状を見ると上・下部層ともに xy 平面において揚水点をピークとして、舌状に塩水が浸入している状況を示し、3 次元的な濃度分布が得られた。

(3) まとめ

設置した PC クラスタを用いて試計算を実施し、当初予定していた解析が実施可能であることが確認できた。今後はプログラム改良と速度向上を検討する予定である。

参考文献

- (1) Takato Takemura, Minoru Sato, Takashi Chiba, Yoshiharu Ito, Ayako Funabiki (2016) :Effect of sedimentary facies and geological properties on thermal conductivity of Pleistocene volcanic sediments in Tokyo, central Japan, Bull Eng Geol Environ.
- (2) (株)アサノ大成基礎エンジニアリング(2015):日本大学 地中熱ヒートポンプの導入(業務委託報告書)
- (3) 公益財団法人 地盤工学会(2013):地盤調査の方法と解説 二分冊の1,第7編 pp471-659.

3.4 研究推進

3.4.1 廃炉地盤工学委員会

2016 年 1 月 7 日に表 3-1 のメンバーを招集し、廃炉地盤工学委員会を開催した。議事次第及び主な討議事項は以下の通りである。

[議事次第]

1. 自己紹介
2. 委員長挨拶
3. 採択された JGS 廃炉プロジェクトの内容紹介
4. 委員会の設置とその方法
5. 個別基盤研究内容、廃炉地盤工学カリキュラムに関するブレインストーミング
6. JGS 廃炉ディスカッションミーティングの開催について
7. 2016 年度 JGS@岡山における特別セッションの内容
8. その他

[討議事項]

- ・廃炉地盤工学の概念や意図、及び地盤工学会の方針の共有
- ・最終的なアウトプットは教育（人材育成）と技術開発であること
- ・技術マップをまとめるに際して留意すべき事項（明確にしておくべき点など）について
- ・技術開発における東京電力側のニーズについて
- ・NFD で提供中の廃炉に関する詳細な情報（資料）について
- ・若手技術者の参画方法について など

3.4.2 1F 申請者会合

本研究を円滑に進めるため、1～2 ヶ月に 1 回程度、コアメンバーを招集した会議を開催した。以下に、同会議での主な議論内容を整理する。

■ 2015 年 10 月 22 日 第 1 回 1F 申請者会合

[主な議論内容]

本研究プログラムにおける各テーマ内容（基盤研究開発内容・委員会・人材育成等）と役割分担、研究体制及び今後のスケジュールについて確認した。

■ 2015 年 11 月 24 日 第 2 回 1F 申請者会合

[主な議論内容]

廃炉地盤工学委員会の運営体制や本会議での方向性について議論すると共に、次年度に向けた新規委員の公募方針、契約動向及び今後のスケジュールについて確認した。

■ 2016 年 1 月 5 日 第 3 回 1F 申請者会合

[主な議論内容]

第 1 回廃炉地盤工学委員会の議事次第や流れの確認、説明に用いる資料や発表にあたっての役割分担について確認した。

■ 2016 年 3 月 3 日 第 4 回 1F 申請者会合

[主な議論内容]

成果報告書をはじめとする提出物作成における役割分担や本年度成果の発表予定、委員公募状況などについて確認。また、同会議では IRID から 8 名が参加し、検討中の燃料デブリ取出しシナリオの説明を受けると共に、当該シナリオが有する課題と地盤工学的技術の適用性に関して意見交換を実施した。主な情報交換の内容は次のとおり。

- ・ 地盤工学会側参加者による炭酸ガスレーザーを使用した掘削方法や重泥水等の技術についての紹介。
- ・ 止水技術がセメント系材料に絞りすぎており、ベントナイト系遮水技術や流動化処理土、泥水技術など、土木技術で開発された多様な技術の適用も検討すべきであること。
- ・ 実際には単一材料だけではなく、複数の材料をそれぞれの役割を考えて使用することになる。
- ・ IRID から廃炉地盤工学委員会が有する技術情報の多様性を認識したとの感想があると共に、同委員会へのオブザーバー参加の許可依頼を受け、拝承する旨回答した。

■ 2016 年 3 月 22 日 第 5 回 1F 申請者会合（臨時）

[主な議論内容]

シナリオ・技術マップの整理状況及び廃炉基盤研究プラットフォーム第 2 回運営会議に向けた対応について議論した。

3.4.3 関係機関協議

廃炉地盤工学委員会・1F 申請者会合等に加え、当該文科省プロジェクト採択機関や関連機関との連携及び情報交換のため、以下の会議に参画した。

2015 年

- 12 月 7 日 JST ワークショップ、廃炉有識者会議（参加者：小峯、鈴木、後藤、菱岡）
- 12 月 15 日 廃炉基盤研究プラットフォーム第 1 回運営会議
（参加者：小峯、鈴木、後藤、菱岡）
- 12 月 21 日 福島復興・廃炉推進に貢献する学協会連絡会／事務局 日本原子力学会
（参加者：小峯）

2016 年

- 1 月 9 日 日本学術会議主催フォーラム「巨大災害から生命と国土を護る－30 学会からの発信」最終回(11 回)（参加者：東畑）
- 1 月 22 日 東京工業大学廃止措置技術・人材育成フォーラム（参加者：後藤）
- 2 月 5 日 高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する「科学的有望地の要件・基準に関する地層処分技術 WG における中間整理」の説明会（参加者：小峯、後藤）
- 3 月 16 日 第 1 回次世代イニシアティブ廃炉技術カンファレンス（NDEC-1）、第 3 回廃炉有識者会議（参加者：小峯、鈴木、後藤）
- 3 月 28 日 第 2 回廃炉基盤研究プラットフォーム（参加：東畑、斎藤、菱岡）

3.4.4 講習会・視察等

本研究課題である人材育成に向けて、以下に示した地盤工学会主催の講習会を開催したほか、委員会メンバーを主体に福島第一原子力発電所の視察を行い、現地での東京電力担当者との議論や説明などにより事故原子力発電所の現状を把握した。

以下にこれらの概要を示す。

■ 2016年3月22日：地盤工学会福島第一原子力発電所視察



写真 3-7 事前説明の様子



写真 3-8 構内の状況

[参加者]

28名、うち学生8名

■ 2016年3月29日：「実験から把握する地下水流速」廃炉地盤工学委員会講習会

於：千葉工業大学

[講習会の目的]

地盤工学において、一般には地下水は流量が問題になることが多いため、ダルシーの法則に従う地下水解析を教えている。この方法は、地盤を多孔質体と仮定し、全断面でどれだけの流量があるかを算定するため、透水係数という地盤パラメータでその特性を表現したものである。しかし、実際には土粒子の間隙を縫って地下水は流れるため、透水係数から算定された流速（ダルシー流速）より、実際の流速（実流速）は速くなる。また、地盤の間隙率（有効間隙率）や動水勾配も影響すると考えられる。したがって、地下水による汚染物質等の広がりを把握するためには、この実流速が重要となることから、本講習会では実験土層を用いて、これらの差異があることを把握する。

[実施内容]

最初に問題点の概要に加え、実験土層を用いた実験の目的と内容を説明した。次いで人工地盤に期待する平均流速等を踏まえ実際に実験土層を製作し、動水勾配の条件を変化させた実験を通じてダルシー流速を求め、事前の理論的（または解析的）に導いた流速を比較検討した。さらに、実験土層の任意の点に流向流速計を設置し、ポイントでの流速を測定したほか、状況に応じてトレーサー試験により流速を算定した。以上に加え、人工地盤の有効間隙率を実験的に求め、実流速を推定した。これらの結果を比較検討することによって、地下水流速とは何であるかを理論と実験の両面から学習した。

[参加者]

49名、うち学生18名

4. 結言

本研究課題では、実効性の高い技術に基づき福島第一原子力発電所の廃止措置を実現することを目指し、高放射線環境下など原子力分野特有の条件を地盤工学へ融合すると共に、現状から廃炉までの時間軸を考慮しながら、個別基盤研究テーマ「①：現状から廃止措置までの長期間の地下水環境・作業環境の状況調査と将来予測」、「②：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」、「③：福島第一原子力発電所構内の除染廃棄物処分と原子炉建屋デコミッショニングに関する実現可能な技術の開発」の技術開発を実施している。さらに、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を育成するプログラム「廃炉地盤工学」の構築を進めるものである。

5カ年計画の1年目である本年度の業務実績としては、地盤工学会において福島第一原子力発電所廃止措置に向けた地盤工学的新技术と人材育成に関する検討委員会（略称「廃炉地盤工学委員会」）※を構築するとともに、廃炉シナリオ及び廃炉地盤工学カリキュラムの設計を開始した。再委託先の早稲田大学では、重泥水の放射線遮蔽特性定量調査とそれを活用したデブリ取出し補助技術の可能性に関する机上検討及び福島第一原子力発電所構内の除染廃棄物の一時仮置き施設における覆土材のガンマ線遮蔽特性データ取得と分析を実施した（個別基盤研究テーマ②③）。もう一つの再委託先である千葉工業大学では、広域な地下水流動を対象とした調査技術の精度検証と現場試験計画の策定及び地下水流動解析技術の環境整備を進めた（個別基盤研究テーマ①）。

次年度は今年度成果を踏まえ、地盤工学会において「(1)廃炉地盤工学の構築と廃炉プロセス技術シナリオの評価」「(2)廃炉地盤工学教育システムの構築、」「(3)廃炉地盤工学に関する認知度の向上と技術の集約体制の構築」を進める。さらに、再委託先の早稲田大学では、超重泥水・各種覆土の放射線遮蔽性能評価をさらに深化させる。同じく千葉工業大学では、室内実験及び原位置調査をさらに進め、地下水環境等の解析・調査技術と予測技術の高度化を進める。

※ 計画書段階の名称：廃炉シナリオ検討委員会（JGS オールジャパン廃炉委員会）