

## 廃炉地盤工学のカリキュラムの試作

早稲田大学理工学術院 正会員 ○小峯 秀雄

早稲田大学理工学術院総合研究所 フェロー会員 後藤 茂

### 1. 背景と目的

土木工学・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、福島第一原子力発電所（図1参照）におけ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、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。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必ずしも正確に認識していないが故に、直接的な寄与ができないことが懸念される。今後40年以上にもわたる福島第一原子力発電所の事故収束に寄与するためには、直接貢献できる技術開発はもちろんのこと、福島第一原子力発電の廃止措置に内在する技術的課題を的確に抽出し、それらを具体的に解決できる技術的な逸材を育成する必要がある。そのためには、従来型の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。廃止措置において、地盤工学・土木工学の観点から寄与・貢献し、若者が将来の職業として魅力を感じる技術産業を創出できれば、廃炉を推進する立場の行政組織、東京電力、研究者、建設関連企業等への人材輩出および実効的な技術支援が可能になるものと考えられる。



図1 福島第一原子力発電所の状況の一例（2019年1月15日、東京電力HD撮影）

著者らは、上述の背景の下、地盤工学の観点から福島第一原子力発電所の廃止措置に対し、技術開発および人材育成の観点から貢献することを目的として「廃炉地盤工学」を提唱している<sup>1)</sup>。本論文では「廃炉地盤工学」の下、国が提示する福島第一原子力発電所の廃止措置に関する中長期ロードマップ<sup>2)~4)</sup>を踏まえ、当面重要と考える研究テーマを挙げ、さらには地盤力学、地盤環境学、地盤材料学および地盤施工学の4項目で構成するカリキュラム案を提示し、廃止措置に貢献できる人材の育成方針を論じる。

### 2. 廃止措置のための地盤工学カリキュラムの構成方針と試作

著者らは、廃止措置に向けた地盤工学すなわち「廃炉地盤工学」を構成する技術の属性・学問単位と取り組むべき技術課題を整理すると共に、各学問単位の現状の成熟度について次のようにまとめた。

【地盤力学】原子力発電所の廃止措置での各段階で生じる構造物および地盤の形態変化について、地震等に対する安定性を検討するための技術群である。学問としては、長い伝統と豊富な実績を有し、教育機関の土木工学課などで授業が行われている。廃炉問題に関しては、上述の技術課題や境界条件の整備といった課題を抱えるが、基本的には現状の技術の延長上で取り組むことが可能と評価できる。

【地盤環境学】廃止措置過程において必要な地盤内（地下水、地下空洞等）の放射線環境を予測・評価・改善するための技術群である。地盤掘削に伴う地下水挙動の変化などにおいて研究実績が豊富に存在するが、地中における放射性物質の移動を支配する土粒子の間隙における水の実際の動きについては不明な点も多い。放射線の問題に関連した環境評価という意味では新しく、教育機関でもほとんど取り上げられていない。

キーワード 廃炉地盤工学、福島第一原子力発電所、廃止措置、地盤施工学、地盤材料学

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1, 58号館2階03室 TEL03-5286-2940

【地盤材料学】廃止措置に有効な地盤系材料（ボーリング補助液・止水材・グラウト材・覆土材料等）を開発・改良する技術群である。汚染物や廃棄物の処理に際して、地盤系材料を活用した取り組みは、産業廃棄物処理分野等ですすでに行われており、研究成果・実績も豊富に存在する。また、廃炉問題に関連した放射性廃棄物の処分分野においても、取り組みが進められており、研究成果も増えつつある。

【地盤施工学】廃止措置における環境的・構造的条件を考慮して、最適な工法・材料を選択し、廃止措置過程を実体化させるための技術群である。施工学は通常の土木工事で行われる思考過程を取扱うものであるが、経験工学的な色合いが強く、教育機関での取り組みは進んでいない。特に事故原発の廃炉作業は未経験な場面・事象が連続するものであるため、通常の施工学を適用するには困難が想定される。

上記の技術成熟状況も踏まえ、廃炉地盤工学の人材育成カリキュラムを表1のように試作した。この試作カリキュラムの構成の考え方は、放射線影響の基本的理解をスタートに、地盤環境学、地盤材料学、そして地盤施工学の基本的な事項の教授を主眼に構成している。第1回の講義時に、実務的観点を包含した課題を予め提示しておき、受講生には講義と並行して現場の最新情報を収集し発表内容の構想を要求する。これは廃止措置のために必要と考えられる課題と技術的解決方を各自で発表してもらい、意見交換することを通じて、学生の課題設定能力と軌道修正能力を養う狙いである。この試作カリキュラムを基に、早稲田大学大学院創造理工学研究科の講義「地盤工学特論B～廃炉地盤工学の創出～」において、2018年度から実践を開始している。その人材育成効果については、今後、検証する予定である。

謝辞：本研究の一部は、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」の採択課題「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の新技術開発と人材育成プログラム（地盤工学会）」の支援により得られたものである。ここに感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 公益社団法人 地盤工学会, 廃炉地盤工学 (日本語), <https://www.jiban.or.jp/hairo/>, 2019年3月7日.
- 2) 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～, 2015年4月30日.
- 3) 原子力損害賠償・廃炉等支援機構 (NDF): 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2016, 2016年7月13日.
- 4) 原子力損害賠償・廃炉等支援機構 (NDF): 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2017, 2017年8月31日.

表1 廃炉地盤工学としての講義カリキュラムの試作例

回	講師 (2018年度実績)	単元タイトル	内容キーワード
1	小峯秀雄 (早大)	講義概要説明, 課題設定とブレインストーミング演習	廃炉地盤工学, シラバス, 人材育成方針
2	吉村貢 (SRE)	放射線に関する基礎知識1	放射線の基礎理論と特性
3	吉村貢 (SRE)	放射線に関する基礎知識2	放射線計測技術, 応用技術, 放射線遮蔽
4	後藤茂 (早大)	廃炉のための地盤工学 (廃炉地盤工学) の全体概要	廃炉地盤工学, 地盤力学, 地盤環境学, 地盤材料学, 地盤施工学 (特に基本的な部分: 施工計画, 施工技术, 技術マップ構築)
5	成島誠一 (NB研/西武建設)	廃炉のための地盤材料学	超重泥水, 放射線遮蔽特性, 遮水性能, 配合設計, 実施工
6	鈴木誠 (千葉工大)	廃炉のための地盤環境学	地下水流動, 流向・流速, 土壌・地下水汚染, 物質移流分散, 原位置計測
7	渡邊保貴 (電中研)	廃炉のための廃棄物処分学	閉じ込め機能, 遮蔽, 処分シナリオ, 廃棄物処分場設計
8	後藤茂 (早大)	廃炉のための地盤施工学	廃炉の特殊性と類似性, 要求性能・代用特性, デブリ取出し事例
9	菱岡宗介 (PCKK)	中長期ロードマップ・戦略プランと技術マップ	廃炉までのシナリオ, 戦略プラン, 中長期ロードマップ, 技術マップと地盤工学的技術の活用
10	成島誠一 (NB研/西武建設)	地盤材料学の観点からの「超重泥水」技術開発	超重泥水, 沈降型泥水の実演
11	片山啓 (長大)	地盤環境学の観点からの地下水制御対策の評価	事象研究, 解析的検証と考察, 地下水制御工, 中間貯蔵設備への応用
12	山田淳夫 (安藤ハザマ)	廃炉廃棄物処分学1	低レベル放射性廃棄物の埋設, ベントナイト混合土, 締固め, 施工計画, 要求性能・代用特性
13	渡邊保貴 (電中研)	廃炉廃棄物処分学2	インベントリ・性状, 処分形態, 安全評価, 多重防護
14	山下俊一 (福島県立医大)	原発事故と健康影響	原爆被災, チェルノブイリ, 福島, 原発事故, 放射線健康リスク
15	小峯秀雄 (早大)ほか	学生発表・ブレインストーミング演習	ブレインストーミング, 学生間意見交換