

廃炉地盤工学の活用と原子力発電所廃止措置への 地盤工学的技術の貢献方法の検討

Special Session on Decommissioning of Fukushima Daiichi Power Station

東 畑 郁 生 (とうはた いくお)
関東学院大学 客員教授

1. はじめに

福島第一原発の事故を収束させることは国民すべての願いである。事故原発の廃炉という未知の大問題においては、既存の分野にこだわらず、それぞれが持てる力を新しい課題に適用する姿勢が大事であり、地盤工学が現在行っている努力も、その一例である。被災直後の緊急状態が終わったあと、現在までに福島現場では、地下水の制御や原子炉内部の状況の調査が行われてきた。今後はデブリ(溶融した核燃料が冷却・固結したもので、破壊された原子炉設備なども含む、写真-1)の取り出しと処理・処分、デコミッションング(現地施設の解体・撤去)などが数十年にわたって行われる。そのあいだ地盤工学の果たすべき役割は重要であり、廃炉地盤工学委員会は技術と人材育成の二つの面から貢献することを目指している。以下に、その進行状況を概説する。



写真-1 燃料デブリと推定されている物質の現状例(東京電力ホールディングス:福島第一原子力発電所2号機 原子炉格納容器内部調査 ~19日調査速報~, 掲載日2018年1月19日 入手先<<http://photo.tepco.co.jp/date/2018/201801-j/180119-01j.html>>(参照2018.8.15))

2. 廃炉地盤工学の形成について(後藤茂委員)

廃炉作業の大筋は、原子炉の構造を熟知する原子力工学者によって構想されている。しかし対象とする原子炉は巨大であり、例えば格納容器の高さが32~34m、破壊された三基の原子炉中に存在した核燃料が約300t、破壊された設備も合わせたデブリ総量はその数倍となる。

このような大きなモノを扱うのは建設工学が実行してきたところであり、土木建築の施工の面からの知見が重視されるのである。放射能という視点を除けば、建設施工と本質的に変わるところが無い、とも言えよう。廃炉地盤工学委員会でも、土木建築的な視点で今後の廃炉作業を再構成し、土木建築と放射能(汚染や防護)の両方に通暁する人材を育てることを、重要な目標に掲げている。

廃炉地盤工学は、次のような要素から構成される。

- 地盤力学: 廃炉への各段階で生じる構造物及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。
- 地盤環境学: 廃炉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。
- 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。
- 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。

そして廃炉への作業は、汚染水・地下水環境、デブリ取出し、原発施設解体・廃棄物処理処分の3段階に係ると考えられる。これら4要素3段階の具体的な内容を表-1にまとめておく。

3. 廃炉シナリオと技術マップ(菱岡宗介委員)

表-1の内容に対応できる技術として、高精度ボーリング、地下水環境評価、グラウト注入、トンネル掘削などが地盤工学に存在している。これらの分野で学会会員から情報を収集し、具体的な現存技術を一覧できる技術マップを作成・公開した。このマップは技術の単なる羅列ではない。まず国の定める廃炉ロードマップに適合する廃炉シナリオを委員会で想定した。そしてシナリオの各段階に合わせて、該当する技術を開覧できることが技術マップの特長である。

マップに含まれる内容は、技術名称、保有者(社名)、技術分類、概要、適用性、出典、備考である。なお、技術マップは次のサイトで閲覧できる。

https://www.jiban.or.jp/hairo/reaserch_result/
地下水移行や土・重泥水の放射線遮蔽実験、廃炉/

表-1 廃炉地盤工学の内容

	汚染水・地下水環境	デブリ取出し	原発施設解体・廃棄物処理処分
地盤力学	汚染水貯留施設の安定性評価、遮水壁設置地盤の地震安定性評価	原子力建屋下部の放射線漏洩防止処置のための地下基地の安定性評価	原発施設解体の段階に沿った地盤・建屋系の地震時安定性評価
地盤環境学	原子力建屋周囲の時間的変化に対応した地下水・核種拡散シミュレーション	上記地下基地の空間放射線量の環境評価	原発施設解体の段階に沿った建屋周囲の地下水環境・放射線環境予測と評価、地中埋設処分対応地下水環境評価
地盤材料学	汚染水貯留プールに適用可能な高性能止水材料の開発、遮水壁の信頼性を高める高性能遮水壁材料の開発	空間放射線量を低減する高遮蔽性重泥水の開発、デブリ視認可能な可視性重泥水の開発、格納容器水漏れ箇所対応可能な高遮蔽性固化泥水開発、デブリの一時的封込めに対応可能な可逆的液性・塑性（高遮蔽性）充填材の開発	瓦礫・伐採材保管に適した高遮蔽性覆土材料と止水材料の開発、地中埋設処分に対応した廃棄物空間充填材料の開発、 安定的原位置封込め に対応できる格納容器用高遮蔽性充填材料の開発、 安定的原位置封込め で建屋全体を覆う高遮蔽性盛土材料の開発
地盤施工学	地下水の流入を止める信頼性の高い遮水壁の構築工法、輻輳する地下構造物に対応できる遮水壁構築工法、汚染水プールに敷設する自己診断機能付き遮水幕工法	デブリ取出しのため高精度ボーリング工法、上記地下基地の構築工法、格納容器水漏れ箇所封鎖のため高遮蔽性グラウチング工法	信頼性の高い瓦礫・伐採材の保管施設構築工法、地中埋設処分施設の構築工法、 安定的原位置封込め での格納容器用高遮蔽性充填工法、同上で建屋全体の鋼製外殻による封込め工法

4. 超重泥水をデブリ取出しへ適用（成島誠一委員）

ベントナイト泥水による遮水や孔壁支持などは、地盤工学でなじみ深い。この技術をもとに、特殊な粘土と添加剤の混合物で泥水を製造し、原子炉の損傷部からの汚染水漏洩の停止や原子炉建屋内部の放射線環境の改善（遮蔽）に役立てようとしている。この泥水は、質量密度と含水比のどちらも高いので、ガンマ線と中性子線双方をかなり遮蔽でき、かつ複雑な事故原子炉の細部へ流入して汚染水の漏洩を止めるものである（写真-2）。流動性、水中不分離性、低透水性など材料そのものの優劣もさることながら、原子炉構造の変形への追従性、現場の過酷な環境（化学的、放射能的）においても劣化しないこと、原子炉の寸法に合わせて材料を大量かつ安定的に製造・供給できることが、重要である。

要件を満たす材料を開発し、実験室において放射能耐久性を確認したあと、実規模の模型を用いて充填性能実証実験を行い、水頭 40m の下で十分な遮水性能が実証された。



写真-2 高い流動性と放射能遮蔽性能をともに備えた超重泥水

5. フロアディスカッションなど

活動内容の報告に続いて、会場参加者に質疑をお願いした。主な内容は次のとおりであった。

Q 1 : 凍土壁の遮水性能を本委員会で評価しないのか？
 A 1 : 凍土壁の問題は本委員会の活動対象ではない。委員会活動は国からの業務委託という形式に従っており、委託されていない活動を行うことは違約となる。別途、独立した委員会を設立するのであれば、可である。

Q 2 : 超重泥水は自然界においてどう振舞うだろうか？
 A 2 : 自然界に存在する物質で製造されているので、長期間安定するであろう。

Q 3 : 廃炉までの 40 年間に超重泥水の変形追従性能喪失などの不具合が認識された場合は、直ちに取り換えてできる方法を考えよ。
 A 3 : 同意する。取り換えのためには、固化しない材料が有利であろう。また、超重泥水の状態を把握できるよう、モニタリングの研究を早稲田大学で開始した。

Q 4 : 自然界にも放射能は存在する。放射能と共存する方策も重要ではないか？

A 4 : 同意する。関連して先般、長崎大学山下俊一先生の講演会を実施した。先生は、長崎の被爆者の治療に長年従事され、チェルノブイリや福島の問題にも正面から取り組んでおられる医師である。

本プロジェクトでは、廃炉に従事する人材を全国レベルで育成することが、強く求められている。本委員会では、早稲田大学と千葉工業大学で新たな講義科目をスタートしたほか、昨年に引き続き今年も12月に地盤工学会において講習会を開催する。

(原稿受理 2018. 8. 15)