

平成 29 年度 第 1 回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)

議事録

日時 : 2017 年 6 月 26 日 (月) 15:00~17:00
場所 : 地盤工学会・JGS 会館 地下一階会議室
参加者 : 別紙参照

配布資料 :

配布資料 01_議事次第
配布資料 02-1_平成 28 年度 第 3 回 廃炉地盤工学委員会 議事録 (案)
配布資料 02-2_廃炉地盤工学委員会名簿 (rev.170523)
配布資料 03_燃料デブリ取り出し工法に関する新たな概念 (※後日 HP より配布)
配布資料 04-1_2017JGS 名古屋特別セッション議事次第
配布資料 04-2_関連案内
配布資料 05_その他

議事内容 : (敬称略)

1. 委員長挨拶 (委員長代理・座長／小峯)

委員会開催にあたり、過年度迄の活動内容や本プログラムの目的、活動方針、及び今後の活動予定等が述べられた。

2. 前回議事録確認

前回の議事内容の概略について説明・確認が行われ、承認を得た。

3. 燃料デブリ取り出し工法に関する新たな概念 (東京大学／鈴木)

東京電力時代に従事した福島第一原子力発電所における事故対応やそこでの技術開発内容等について紹介された後、本日の主題である「福島第一廃炉研究マップの俯瞰的アプローチ-燃料デブリ取り出し代替工法-」に関する説明が行われた。

(※注) 具体的な工法については発表を控えていることから本議事録では明示せず、考え方や一般的な情報に主眼を置いたとりまとめとしている。

- ・東京電力では主としてトラブル対応に従事しており、2002 年の東電不祥事問題^{※1}には原子炉内のシュラウドで生じた応力腐食割れの解析評価を中心的立場として行った。その際、分かった事及び実施した対策内容を報告するのが一般的であった中で、分かった事に加えて分かっていない事も今後の方針と共にレポートに明示した結果、役所の方も地元の方々にもご理解頂いた経験がある。
- ・工学の世界で 100%はなく、どこまで分かったかを説明することが大切であり、分かっていな

い人間に分かっていない事は説明できない。このような裏を出すことが、地元の方々のご理解に繋がったと考えている。

- ・福島第一原子力発電所（以下、1F と記す）では想定外事象という言葉がよく出てくるが、現状の設計ではあるレベルで安全率をかけ、その中で設計を行っていくこととなる（このレベルを超えた事象が想定外）。そこで多重防護・深層防護という新たな学問体系が必要であったが、日本には欠けていたと考えている。
- ・1F のリスク管理において、通常の原子炉と同等の廃止措置では逆に危険を増すこととなる。リスクのわずかな増大を許さない工事や時間的な先送りは、結果的にリスクの増大につながる事となる（海水注入に伴う配管等の腐食、更なる地震の発生等）。従って、俯瞰したリスク管理を行っていく必要があり、人材についても戦略的に育成していく必要がある。
- ・現在、IRID が研究開発中の工法を幹と捉え、二の矢・三の矢は用意しておくべきである。これは国際的なアドバイザー（TMI・NDA）の方々の意見でもある（≡フォールトトレランス）。なお、検討した代替工法は、現在 IRID で研究開発を進めている技術を活用した提案である。
- ・闇雲にデブリを取り出した場合、その他の取り組み（閉じ込めや処理・処分等）へ影響するため、全体像を俯瞰しながら進めることが重要である。
- ・本検討では妥当性を検証するため、意図的計画法に対して、エンドステートから考える仮説指向計画法という金融工学の考え方を応用している（一般論として、長期にわたる確実なものを検討する際、時間軸のスタート側から進めると枝葉に入ってしまう恐れがある）。
- ・人間は想定外のことは対象から外す傾向があるが、起こったことに対しては突き詰めて考える傾向があるため、議論（プレスト）では「何故、失敗したか」を始点として進めている。
- ・燃料デブリ取出しでは、作業員の安全確保及び外部への飛散防止の観点からも、放射性物質の閉じ込めが非常に重要である（原子力分野で特に問題として捉えられているのは α 核種^{※2}）。その際、故障等の問題があっても対応可能なリスクマネジメントが重要となる。
- ・格納容器（PCV）底部に溶け落ちた燃料デブリはコンクリートと反応して MCCI 生成物となっており、東京電力の解析によると 0.7m 程度浸食しているとされる。TMI では MCCI 生成物等の微粒子は吸引して取り出している。チェルノブイリ等の MCCI 生成物（象の足）については風化（粉状）しているという説があり、これは自らの放射線影響による分解あるいは細菌による分解（気中保管による影響）とされ、いずれにしても時間経過と共に性状が変化すると考えられている。なお、チェルノブイリではシリコン系のジオポリマーが密封・粉塵低減剤として使用されている。
- ・戦略プラン 2016^{※3} で示された炉内空冷解析（気中工法想定）では、2021 年でも燃料デブリは崩壊熱により 478℃（表面温度は 348℃）となると計算されている。但し、この解析では下方への（鉄筋等による）熱伝導を考慮していないため、燃料デブリ（MCCI 生成物）の表面温度は 100℃程度と想定している（そこそこ熱い）。なお、PCV 下部はリング状のシェルにより固定されている。
- ・圧力容器（RPV）内の燃料デブリは、1 基あたり約 200ton と想定されており、現在、ペイロードを拡張した搬送技術の開発が進められている。
- ・閉鎖された格納容器内では、注入された冷却水が蒸気となり、これが格納容器内側壁面で冷却・凝集する循環（ヒートパイプ）が形成されていることで、先日の PCV 内部調査で確認さ

れた局所的な高線量（セシウムの濃縮）に至っている可能性が考えられる。

- ・水の放射線分解に伴って発生する水素の管理は非常に重要となる。この点も、水和反応主体のセメントではなく、ジオポリマーの採用を考えた一因となっている。
- ・燃料デブリ取り出しを含む解体作業で大量に発生する低レベル放射性廃棄物については、 α 核種が拡散すると測定・分類・処理が非常に困難になることが想定されるため、予め取り出す段階での工夫が必要と考えている。

※1 2002年8月、自主点検記録の虚偽記載及び定期検査の偽装工作が判明した結果、原子炉を停止して再点検を行うに至り、これにより東京電力管内の電力供給が危機的状況となった問題。

※2 燃料デブリ掘削に際して、熱が加わっただけで発生し、外部に漏れ出した際にはすぐに検出される。

※3 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, 原子力損害賠償・廃炉等支援機構, p4-39

このような背景・考え方のもと、ジオポリマーによる燃料デブリの準安定化という放射性物質の飛散防止策を施した後の様々な取り出し工法（案）について、説明がなされた。

以下に主な質疑内容等を取りまとめる。

（質問）落下した燃料デブリの崩壊熱は冷却水ではなくコンクリートを伝って放熱しているとのことであるが、検証はどのような状況にあるのか。（電中研／渡邊）

（回答）コンクリートを伝っての放熱は、一般論として認知されていると考えている。ヒートシンク（放熱・吸熱部）が何処にあるのかは伝熱では難しい問題であるため、詳細な解析はまだ実施されていないと思うが、明らかにしていこうという流れはある。ただ、コンクリート内には鉄筋が存在することから、これを伝って熱が逃げているのは間違いないと考えられるが、今後詳細な解析が必要である。（東大／鈴木）

（質問）このような伝熱の検討に際して、地盤や地下水など周辺の影響領域はどこまでを考慮すべきなのか。（電中研／渡邊）

（回答）最初に境界として重要となるのはPCVの壁（フラスコの底）で、ここが保たれているかどうかは最も重要なポイントとなる。100℃という領域はコンクリートにとっては影響が懸念される温度帯であるが、金属（炭素鋼）のPCVでは問題ないため、下方への影響という面では確認ができているという認識である。（東大／鈴木）

（質問）ロボットやセンサー等、装置の性能として現環境下で適切に動作するようになっているのか。（地圏／末岡）

（回答）放射線影響については、 γ 線等の照射試験などによりカメラやレンズセンサー等が弱いとの結果が得られているため、現在は空間線量等を見積もった上で、作業時間を設定している。PCV内部を例にとると、安全率を考慮した作業時間は大体10時間程度である。そのため、炉内での長時間作業が想定される装置は、放射線影響を受けにくい部品（水圧駆動など電子部品を極力排除したもの）など、耐放射線の工夫がなされた装置が開発されている。一方、水中については、TMIの事例では濁度が高く視野が確保できない事例もあったことから、水中でボーリング等作業を行う場合は技術開発が必要である。（東大／鈴木）

- (説明) デブリ取り出しにあたってのキーワードは飛散防止であり、このために工夫可能な技術や考え方等があればご意見を頂きたい。
- (意見) 切断に伴う飛散防止が問題となるのであれば、建屋外側にバウンダリを設け、負圧にする方法が最も適当と考えられる。切断技術は既にあり、その他の懸念事項として、重量物を扱うので、飛散しないような状態にした上で内部にクレーン等を用意すれば対応可能と考える（鹿島建設／田中）
- (説明) 燃料デブリが覆われた状態であれば施工性からもコンクリートでもよいが、炉内での使用に際しては、それ自体が放射性廃棄物として扱うことになる点と水の放射線分解に関する問題について注意しなければならない。（東大／鈴木）
- (意見) チリのコピアボ落盤事故で用いられたリバースサーキュレーション（逆循環）工法のような方法を使えば、汚染の拡散防止につながるのではないかと（地球情報研／井上）
- (回答) 類似した工法は検討している。ただ、循環装置を用いる場合、交換を必要とするフィルタを設けることとなるが、これが汚染水処理で使用されているキュリオンなどと同様、高線量の廃棄物となる問題がある。（東大／鈴木）
- (質問) ボーリングに関しては水を使用するのが最も適当と考えられ、循環させるのであればフィルタが必要となるが、具体的な考えは何かあるか。また、今後、代替工法の検討を進めていくに際して、どの機関（NDF・IRID・学術機関等）が担当していくか具体的な構想はあるか（NDF／今津）。
- (回答) ボーリングについては水を使用するのが現実的と考えている。現状は水を張った中で行うことを想定しているが、水量が多すぎる点と未だ 2/3 のセシウムが炉内に残存している点から、非常にロスが多いと考えている。2 点目については、IRID の研究が確認に進展するのが前提として、その上で方法の見直し等が出てくる可能性は否定できず、そのような場合には NDF が指揮をとるべきと考えている（IRID は実行部隊であるため）。（東大／鈴木）
- (意見) 本日紹介頂いた話は、格納容器（PCV）底部の燃料デブリ取り出しを主体としたものであったが、圧力容器（RPV）内に残存する燃料デブリの取り出しについては、技術的な見通しは立っているのか（JGS／後藤）。
- (回答) 1・3号機は殆どが格納容器（PCV）底部に溶け落ちていると考えられるので、まずはこちらを対象とした工法について検討を進めている。圧力容器（RPV）内については、上アクセス工法の検討が進められているので、これを確実に進めていけばよいと考えている。但し、多大な作業を要するほか、残存デブリの落下など課題を抱えているものと考えている。因み TMI では、事故時に稼働中であったため、配管等に入り込んだ燃料デブリ 1t 近くは残したままとなっており、現在その状態で廃炉作業が開始されている。（東大／鈴木）
- (質問) このようなデブリ取り出し工法の適用を可能とする（作業可能となる程度まで線量が低下する環境が整うなど）燃料デブリが安定状態になるまでの時間軸は、どの程度を考えているのか（西武建設／成島）。
- (回答) 現行のロードマップでは取り出し開始は 2021 年とされており、これが一つの目安となる。但し、炉内調査の結果を見る限り、さらに調査を拡充すべきと考えている。（東大

／鈴木)

質疑応答後、座長より委員をはじめとする参加者に向けて、本日の話題提供を踏まえて廃炉に寄与可能な地盤工学技術について改めて考えて欲しい旨、話があったほか、技術提案に向けた更なる情報提供の依頼がなされた。また、廃炉基盤研究プラットフォームにおける関連機関との協同など、今後の技術開発方針等について説明がなされた。

4. その他

第52回地盤工学研究発表会(7/13@名古屋)における特別セッションの議事次第や、7～8月開催予定のNDFやIRID主催のシンポジウムについて連絡のほか、共有サーバやHPの紹介が行われた。

以上