

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション

福島第一原子力発電所の建屋・構造物健全性とリスク評価

Building/Structure Integrity and Risk Assessment of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

(2) 1F 廃炉に係る地震時健全性評価と課題

(2) Seismic integrity assessment and challenges in 1F decommissioning

*高田 毅士

日本原子力研究開発機構

1. はじめに

福島第一原子力発電所の事故炉には中長期的には安定状態からの逸脱や施設の劣化等の可能性があるため、燃料デブリを取り出してより安定で安全な状態で事故炉を維持することが計画されているが、長期にわたる廃炉期間中の地震リスクに対する備えは重要な課題である。建屋の地震時健全性の評価においては、2015 年より廃炉検討委員会の下に「建屋の構造性能検討分科会」が設置され、瀧口克己主査を中心として建屋構造体の耐震性の検討がなされ 2019 年に中間報告[1]がまとめられている。そこでは、燃料取り出し開始までの期間を対象にして、文献[2]に基づいて従来の耐震設計規準に基づいた建屋耐震性の検討結果が報告されている。新設発電炉と同様の耐震設計クライテリア（基準地震動と許容値）を用いているが、水素爆発や炉心溶融を経験した事故炉に適用する前に、事故炉に要求される耐震健全性を明確にする必要がある。

事故炉の廃炉活動中の耐震性確保については、TMI やチェルノブイリ炉における要求性能の考え方が参考になると思われるが、1F の事故の特徴を踏まえた耐震性確保の考え方や、廃炉作業自体からの多様な要求条件も明確にした上で、事故炉の耐震要求条件をどう規定すべき極めて難しい課題である。

2022 年 9 月より旧分科会の活動を引継いで著者が主査を担当することになった。本格的な活動はこれからで、本稿は本分科会の今後の活動方針案について報告するものである。

2. 活動内容

地震リスクの低減に効果的に対処するためには、細分化された旧来の専門分野毎の対応では不十分であり、建築構造、機器設備、材料、荷重評価、監視技術、等の関係分野を統合した俯瞰的な連携が必須である。本分科会は、強度基準検討分科会、廃炉リスク評価分科会等と密に連携するとともに、広範囲の専門を持つ分科会委員で構成することとした。地震時の建屋の健全性については、事故炉の要求性能、1F 炉の現状把握、廃炉作業期間中の地震外力の評価に関するものとして、以下の活動項目を設定した。

- ① 1F 事故炉を対象にした長期的な廃炉作業の段階に応じた要求性能に基づき建屋構造物の地震時要求性能を明確にすること、
- ② 関係する建屋・設備・機器類の現状監視技術による情報収集および活用方法の検討、
- ③ 要求性能に対応した長期的な廃炉作業の段階別検討用地震動の策定

2-1. 中長期期的廃炉過程における地震要求性能の分析

強度基準検討分科会の基本方針とも議論を密にした上で、本来の廃炉過程における事故炉に要求される性能を体系化すると共に、その結果に基づく地震時健全性に関わる要件を特定することが重要である。表 1 には、前分科会にて示された段階的・要求性能の考え方であるが、さらに、廃炉作業のための作業員の放射線被ばくの視点、選択した廃炉工法に起因する要件なども同時に考慮すべき条件と考えられる。実機への展開としては、従来の耐震設計指針（JEAG4601）をベースとしつつも、事故炉を対象にした耐震重要度を規定することにより廃炉作業への実装が容易になると期待できる。

2-2. 建屋・設備・機器等の状態評価・監視技術の検討

事故を経験した炉の現状把握は炉内の高レベルの放射線の存在により容易ではない。まずは、炉の状態の把握のため様々な推定方法が試みられており得られた情報が極めて重要である。昨年は、ペデスタル部のコンクリート脚部の状態の写真が一部公開されたが、これは炉内構造物の支持性能とも密接に関わる。

建築構造の観点からすれば、事故時の損傷や過去の地震による損傷の程度や部位の特定は重要である。主に、炉外、建屋外からの遠隔状態監視（地震観測記録、変形の測定など）技術に対する評価方法の開発に注力した検討を実施する。

2-3. 廃炉過程中的段階別検討用地震動の概念の構築と評価

原子力施設の地震安全の原則[3]によると、通常炉に対しては、原子力施設の地震時の要求性能を明確にして（性能に基づく）、リスク論に基づいて（リスク情報活用）、トータルな建屋の安全性確保の考え方の重要性が提案されている。ここでは、「地震時健全性」というあいまいな表現を避けて、「安全性」と「供用性」という異なる二つの要求性能を明確にして、それらを個別部位や個別の設備機器単体で担うのではなく、設備集合として、PRA 的に言うならば要求性能に関わるシークエンス毎の性能確保を実施することが指摘されている。さらに、周辺住民の安全確保が究極の要求目標であることから、施設の異常が生じた時の敷地外への影響を制御するという視点も不可欠である。

この原則を 1F 事故炉にも適用することが可能であり、複数のレベルの要求性能の評価に用いる複数の地震動レベルを規定することができる。廃炉作業（作業員の被ばくリスク低減）に関する地震動、機器・設備単体の機能確保や、事故シークエンス毎の検討に用いる地震動や、放射性物質が発電所から放出される状態を対象にした地震動など、様々な段階に対応した地震動の設定が必要である。従来の基準地震動 S_s や S_d を検討に用いることもできるが、廃炉設計における要求性能との関連を明確化する必要がある。

3. おわりに

本分科会では、上記の 3 つの大きな検討項目を活動の方針と考えており、将来的には、長期的廃炉過程における地震安全確保の考え方提案を目標とした。

表 1 廃炉の各段階における要求性能[1]

工程	事故前	事故収束前	第一期	第二期	第三期
		冷温停止状態の達成まで	プール内燃料取出開始まで	プール内燃料取出開始から燃料デブリ取出し開始まで	燃料デブリ取出し開始から解体、廃止措置終了まで
閉じ込めが必要な放射性物質 ^{注1}	炉内の燃料汚染水 使用済み燃料	燃料デブリ汚染水（建屋内滞留水） 使用済み燃料			燃料デブリ汚染水（建屋内滞留水）
プラントに求められる基本的な安全機能 ^{注2}	止める 冷やす 閉じ込める	冷やす	冷やす ^{注3} 閉じ込める		
建屋に対する要求機能	遮へい性 気密性 水密性 構造安全性	構造安全性	放射性物質を含む物質の閉じ込め 構造安全性		
留意事項		建屋の損傷 屋根崩落等の影響 事故時の熱履歴	加えて 上部カバー重量、反力の影響	加えて デブリ取出に伴う設備等の影響 高経年化対策	加えて 解体進展に応じた状態変化 高経年化対策

注 1：瓦礫等については別途対処することとし、閉じ込めが必要な放射性物質として表に含めることはしていない。

注 2：プラントに求められる基本的な安全機能は、閉じ込めが必要な放射性物質に関するリスクの大きさに応じて異なる。

注 3：廃止措置の進捗に伴う放射性物質やデブリ燃料取出に向けた対策等により、安全確保に係る設備に求められる機能は変化（要求機能の消滅及び低減）するため、必要に応じて安全対策を実施する。

参考文献

- [1] 建屋の構造性能検討分科会 中間報告書 第一報：燃料取り出し開始までを対象とした原子炉建屋の耐震性について(2019).
- [2] 発電用原子炉施設の廃止措置時の耐震安全の考え方：2013（AESJ-SC-A006：2013）
- [3] 原子力学会, 原子力発電所の地震安全の原則～地震安全の基本的な考え方とその実践による継続的安全性向上～（AESJ-SC-TR016：2019）