

リスク部会セッション

外的事象に対する原子力安全の基本的考え方の実効的な取り組み

Effective Initiatives to Upgrade Countermeasures on Basic Concept to Nuclear Safety for External Events

(3) 地震・津波重畳による事故シナリオ

(3) Accident Scenarios associated with Superposition of Seismic and Tsunami Events

*桐本 順広¹¹電力中央研究所 原子力リスク研究センター (NRRC)

1. はじめに

原子力学会標準委員会は、「外的事象に対する原子力安全の基本的考え方」(2021年12月)[1]において、外的事象に対する原子力安全確保のためのフレームワークを示し、国内外の実状と外的事象に対する原子力安全確保向上のための課題や提言を行っている。福島第一原子力発電所事故（以下、1F事故）の教訓から、我が国の原子力発電所では様々な対策が実施されており着実な安全性向上が図られてきている。一方で原子力安全において重要なことは、発電所を運用する事業者自らが規制の枠組みを超えて、持続的にリスクの低減に取り組んでいくことにある。このため低頻度でも発生すると大きな災害をもたらさうる外的事象によるリスク評価を行うことは重要であり、低頻度事象であるがゆえに深層防護や安全裕度の確保等に加えて確率論的リスク評価(PRA: Probabilistic Risk Assessment)も活用した総合的なリスク評価によって、現実的かつ有効な対応を進めていくことが重要である。本稿では、我が国の特徴的な外的事象である地震津波重畳に関する事故シナリオの検討等の取り組みについて説明する。

2. 低頻度事象に対するリスク評価

2-1. 総合的なリスク評価による意思決定

原子力発電所の安全性の確保は、対策を施しそれを維持する仕組みを一度作っただけでは達成されない。原子力災害のリスクをゼロにはできないことを踏まえれば、合理的に達成可能な最小のリスクを目指す努力が不可欠である。この安全性に対する取組みには終わりはなく、常に最新の情報を反映しながら安全性やそれを脅かすリスク源への対策を問い続ける姿勢（安全文化）に依拠したリスクマネジメント体制を構築することで安全性の向上を継続することが何よりも重要となるものである。このリスクマネジメント体制は、組織の基本的な活動プロセスとして常時整備し、不適合が生じた際の是正措置、監査の指摘事項、業務品質向上のための改善は、定めたリスクのマネジメントプロセスに従うことで対応が可能となる[2]。

1995年の米国規制当局（NRC）による原子力安全に対するリスク情報活用に関する政策声明[3]以来、リスク情報を活用した統合的意思決定（Integrated Risk-Informed Decision Making : IRIDM）においては、確率論的なアプローチと深層防護思想や安全裕度維持の確保などの決定論的なアプローチはリスク評価の活用の際には相互補完をするものとして位置づけられ、より高みを目指すための両輪として活用されるものとされている。

このとき、大型地震や津波等の低頻度でも発生すると大きな災害をもたらさうる外的事象によるリスク評価を行うことは重要ではあるが、低頻度事象であるがゆえに深層防護や安全裕度の確保等については一定の基準による線引きが必要となってくる。では、これらの安全設計上の基準を超えた領域では何が発生するのか、対策や代替措置として何を考慮すべきなのかについて検討するために、確率論などを活用したPRA等による評価も加えていくことで現実的かつ有効な対応を進めていくことが可能となってくる。

2-2. 地震と津波の重畳事象

1F事故は地震と津波による複合外部事象であり、地震とその後設計を大きく超える津波が襲来したことによる影響が重畳した結果であった。これらの複合事象を評価するための地震・津波重畳リスク評価は低

頻度事象でも影響が大きい、我が国に特徴的な外部事象リスクであるため国際的にも評価手法の先行例がない。このため、1F事故を経験した我が国の責務として地震・津波重畳事象に対する評価を実機適用できる技術をとって確立する必要があると考える。

ここで地震津波重畳事象とは、地震による作用（地震動、地盤傾斜等）及び津波による作用（没水・被水、波力、等）を合わせた重畳作用によって直接的に引き起こされる、あるいは先行した地震作用によって影響を受ける津波作用により引き起こされる事象をいう。この地震津波重畳事象におけるプラントの状態（過渡的な状態変化や人間行動によるものなども含む）や、その推移がどうなっていくのか、どのような起因事象を引き起こすのか（重畳シナリオ）を把握することで、現実的かつ体系的なリスク評価の実施を行っていく必要がある。

3. 地震津波重畳事象の事故シナリオ

3-1. 重畳事象の事故シナリオの検討

地震津波重畳事故シナリオを考える際には、対象とするサイトの地形や震源や発生しうる地震動や津波の状況などの特性が異なっているため、特徴を把握して重畳シナリオの検討に用いる前提条件などを明確に整理することが必要となる。

全く独立に発生した地震と津波が偶然に同時刻にプラントに影響を及ぼす複合外部事象のケースも考えうるが、現実的には同一の震源・波源からの地震波（本震）と津波がプラントに襲来する地震随伴津波を想定する。震源・波源は同じだが伝播速度の違いがあるため地震動後に時間差で津波が襲来し、海岸線沿いの防波堤・防潮堤、海水取水設備に到達する。このとき、津波高さが防潮堤高さを越流した場合が主に重畳シナリオの対象となり、敷地内浸水後に建屋の開口部（水密化されていない搬入口や空調ダクト等）から建屋内に浸水し、内部の設備に損傷を与えることで起因事象が発生する。加えて重畳シナリオでは、建屋の開口部については地震動による損傷での流入経路や流入量の変化、建屋内作業員の避難時に人的過誤により開放される場合などの考慮も必要となる。さらに防潮堤高さより低い場合でも各種海水浸入ハッチの損傷、取水ピットからの浸水などの流路の発生があるのでプラントの特徴をよく把握することが必要となる。

図1に地震津波重畳事象における発生内容の時系列で整理したイメージを示す。

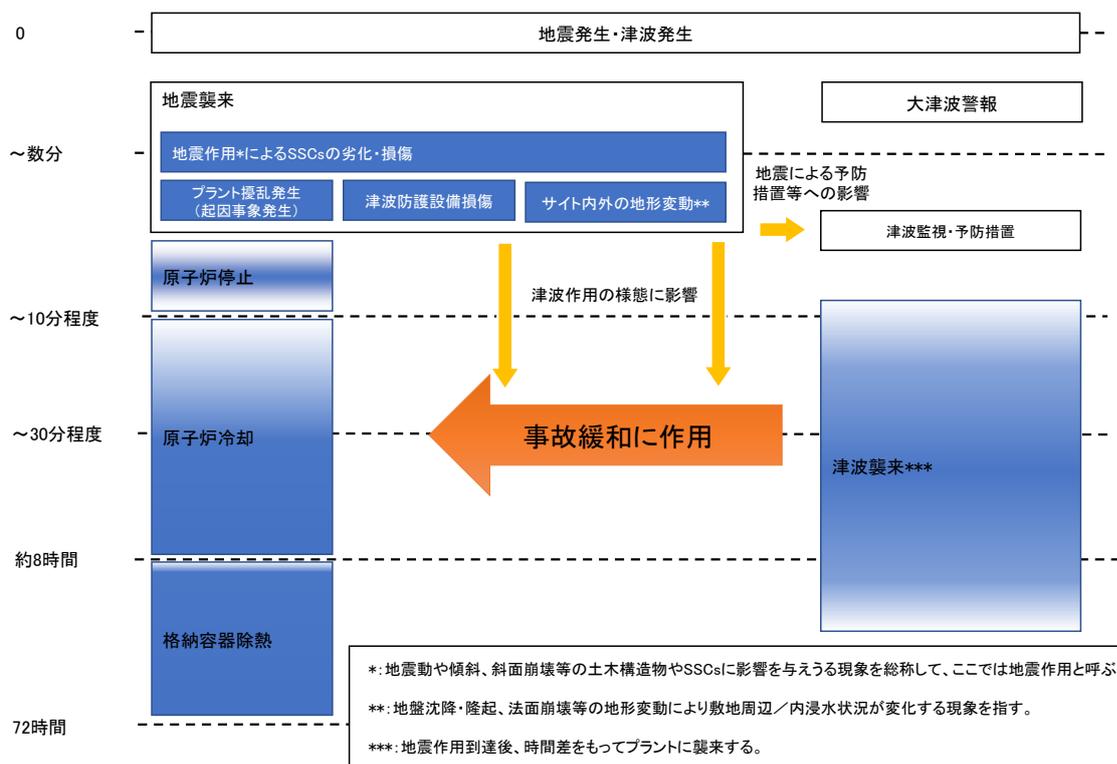


図1 地震・津波重畳事象における時系列の整理

なお、津波襲来後の大型余震のプラントへの影響は、対応するフラジリティ評価の技術などが十分ではないため、一般に地震及び津波はそれぞれ最大級の影響を与える1波を想定することで検討を行っている。

地震津波重畳事象における着眼点としては以下が挙げられる。

- ① プラントに先行して作用するハザードにより、後続のハザードの作用の様態の変化
 - ✓ 重畳作用による津波防護設備の損傷に伴う（単独ハザードと異なる）津波浸水状況
 - ✓ 地盤変動に伴う、（単独ハザードと異なる）津波浸水状況
- ② 重畳作用により、単独ハザードでは生起しないと想定されたシナリオの生起
 - ✓ 重畳作用による（単独ハザードと異なる）SSCsの損傷（2次的影響を含む）
 - ✓ 重畳作用による（単独ハザードと異なる）事故対応状況への影響
 - ✓ 到達時間差による事故対応への影響

② ①及び②の組合せによって発生するシナリオ

一方で重畳シナリオのバリエーション（到達時間区分の追加や人的過誤やフラジリティと起因事象）による組み合わせについても考慮が必要となる。これは相互に排他的になる重畳シナリオ間で発生する事象が同一の事故シーケンス内に混在しないようにするための考慮と、バリエーションによる組み合わせが増えることによる計算量への対応としての考慮が必要である。後者の場合、津波単独のリスク評価ではフラジリティと津波高さの組み合わせは20程度で行っていたものが、到達時間区分や起因事象との組み合わせ、また地震動と津波高さの組み合わせ等も増えるため、簡単に数千のシナリオとなる。これら进行评估のためのリソースの観点から複数のSSCsに影響する、他の事象発生に相関し影響がある等の重要なものに特定していくステップが必要となってくる。

更に事象間の関連性についても影響を受ける設備や対応を抽出し、それらの間での従属性あるいは相互影響を持つなどの相関性を把握して、対象とすべき重畳シナリオの特定をおこなう必要がある。

3-4. 一般的な地震津波重畳シナリオの例

以下に現在検討されている一般的な地震津波重畳シナリオについての例を表1に示す。これらの例は、地震動/津波のハザード評価やフラジリティ評価、確率論的リスク評価などの多分野の専門家による議論により整理したものであるが、これらに加えて評価対象プラントの設計や立地条件から想定される固有の重畳シナリオの検討がさらに必要である。

表1 一般的な地震津波重畳シナリオの例

	重畳事象
1	地震作用による敷地周辺土木建造物の損傷（脆化）に伴う、津波の敷地到達経路の変動
2	敷地全面に渡る地盤変動（隆起／沈降）による敷地高さの変動に伴う津波影響の変動
3	地震動による岩盤斜面の崩落による津波防護施設の物理的損傷／機能喪失
4	地震作用（あるいは重畳作用）による敷地浸水防止あるいは排水のための津波防護設備の損傷による敷地浸水状況の変動
5	敷地内の地形変動（崩落岩塊等）による敷地内地形の変動に伴う津波伝播経路の変動
6	重畳作用による屋外SSCsの損傷
7	地震作用による取水槽等におけるスロッシングによるインベントリ減少による津波水位低下時の取水障害
8	地震作用（あるいは重畳作用）により損傷した屋外SSCsの漂流物化
9	地震作用（あるいは重畳作用）による津波浸水防護設備の損傷による建屋内への浸水、建屋間での津波の伝播
10	地震作用（あるいは重畳作用）による建屋内の溢水伝播防止設備等の損傷に伴う建屋内の津波伝播経

	路の変動
11	重畳作用による屋内 SSCs の損傷
12	地震作用（あるいは重畳作用）による貯槽・配管や格納容器等の損傷による系統内・格納容器内への津波の浸水、あるいは、機器の損傷により、浸水バイパスが生じることによる新たな浸水経路の生成
13	地震作用（あるいは重畳作用）による建屋構造躯体の損傷による津波の浸水
14	地震作用による津波防護対応・対策への影響
15	地震後の避難や地震・津波重畳発生後の避難対応・経路の変更
16	地震作用（あるいは重畳作用）による水位低下時の取水性確保のための設備の損傷
17	重畳ハザードの襲来により新たに生じたあるいは単独ハザード時より複雑化した作業現場・アクセスルート等の復旧作業
18	重畳ハザードの襲来による単独ハザード時と異なる事故緩和設備の操作
19	地震により発生した事故への対応中の津波襲来による事故対応の中断、稼働中緩和設備の損傷（地震・津波到達時間差）
20	地震影響への対応と津波影響の対応が重畳する際のリソース（設備、要員、時間余裕）不足

4. まとめ

原子力発電所の安全性の確保や弛まない安全性向上のために重要である IRIDM の活用について述べ、低頻度事象である外的事象、とりわけその中でも 1F 事故により顕在化した我が国の特徴である地震津波の重畳事象のリスク評価においては、深層防護や安全裕度の確保等に加えてリスク情報も活用した総合的な取り組みが重要であることを述べた。

また、地震津波重畳事象においては何がプラントに起こるのかという事故のシナリオについて実機の固有情報を用いた現実的な内容で明らかにする事が重要であり、このための重畳シナリオの検討の際の留意点や、一般的な地震津波重畳シナリオの検討についての例を示した。

これらの検討が進むことで我が国の地震津波重畳に関する知見が広く各国での外部溢水事象の検討などにも活用され、原子力発電所の安全性と信頼性の向上に資することを期待する。

参考文献

- [1] 日本原子力学会 標準委員会 外的事象安全分科会, “外的事象に対する原子力安全の基本的考え方:2021 (AESJ-SC-TR018 : 2021)” 日本原子力学会 技術レポート, 2021.12
- [2] 日本原子力学会 標準委員会 統合的安全性向上分科会、PRA 品質確保分科会, 「原子力発電所の継続的な安全性向上のためのリスク情報を活用した統合的意思決定に関する実施基準 : 2019(AESJ-SC-S012 : 2019)」, 2020.1
- [3] USNRC, “Use of Probabilistic Risk Assessment Methods in Nuclear Regulatory Activities; Final Policy Statement”, 60 FR 42622, 1995.8

*Yukihiro Kirimoto¹

¹Nuclear Risk Research Center (NRRC), Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI)