

# 地震時の確率論的安全評価(地震PSA)の具体的な評価手法への取り組み

## 地震PSAの具体的な評価の流れとその情報の活用

### Approach to Concrete Methods Regarding Seismic Probabilistic Safety Assessment (S-PSA) Standardized Procedure for SPSA and its Utilization for the Introduction of Risk-Informed Regulation (RIR) Concept

(原子力部 安全技術G)

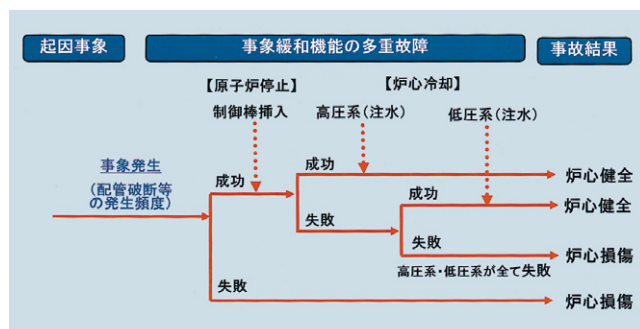
(Safety Review Group, Nuclear Power Department)

平成18年9月に改訂された新耐震指針では、将来の確率論的安全評価を規制に本格導入する検討に役立てる情報として地震PSAの実施を求めている。また、福島第一原子力発電所の事故に伴い、設計上の想定を超えるシビアアクシデントを規制することとなっていることから、地震も含めた外的事象の確率論的安全評価手法の開発が望まれる。今回は、その中で地震PSAの具体的な評価の取り組み状況について紹介する。

The new Seismic Guide revised in September 2006 requests that the information useful for examining future full application of RIR be utilized for S-PSA. In addition, after the accident at the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station on March 11, 2011, measures against severe accidents beyond the reactor design basis are to be taken; therefore, the development of a method of probabilistic safety assessments for external events including earthquakes is also expected. In this report, the status of concrete S-PSA methods will be described.

## 1 確率論的安全評価(PSA)の概要

原子力発電所内で異常や事故が発生する場合の確率論的安全評価(Probabilistic Safety Assessment)の手法では、例えば原子炉につながる大きな配管が破断するような事故が発生した場合には、第1図に示すとおり「原子炉停止」、「炉心冷却」という安全機能を有する設備の動作がどのように成功(道筋の上段)、または失敗(道筋の下段)し炉心損傷につながるかという事故シナリオを想定しており、安全機能を有する設備がいくつも失敗しないと炉心損傷には繋がらないこととなる。



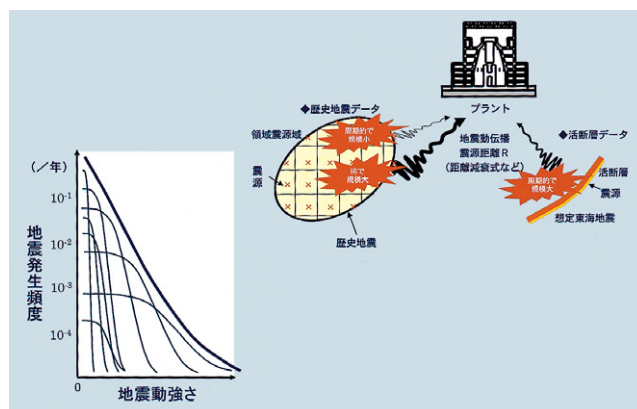
第1図 事故シナリオ(例)

地震PSAでは、上述の確率論的安全評価の事故シナリオの想定を参考に、地震を起因として特徴的な事故シナリオを追加する必要がある。また、発電所設置地盤の揺れの強さとその超過頻度の関係である地震ハザード評価や発電所設置地盤の揺れの強さに対する安全上重要な建物や設備の損傷確率である fragility 評価を行い、それらを追加するのが特徴的なところである。

## 2 地震ハザード評価

地震ハザード評価とは、原子力発電所に影響する全ての地震を対象として、活断層データや歴史地震データに

基づき震源を想定した上で、ロジックツリー(ケース分岐と重み)を設定し、発電所設置地盤の揺れの強さとその超過頻度の関係を対象震源毎に求め、第2図のとおり、これらを足し合わせ評価を行う。



第2図 地震ハザード評価

震源モデルは、震源位置や規模が比較的明確な地震を対象とした特定震源モデルと、震源位置や規模が不明確な地震を対象とした領域震源モデルに分類している。

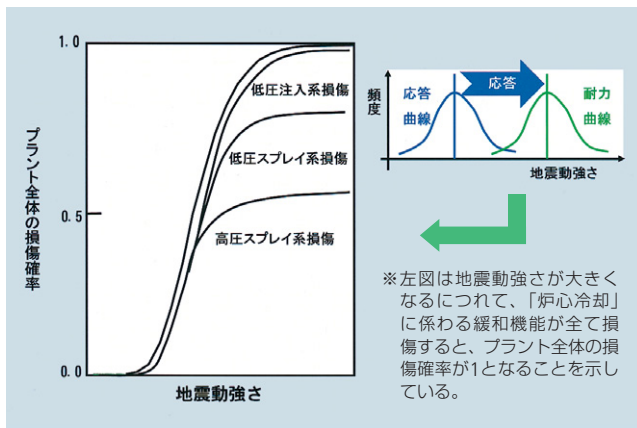
浜岡原子力発電所の敷地に影響する特定震源モデルはプレート間地震(南海トラフ沿いの地震)や特定の内陸地殻内地震を対象とし、また領域震源モデルは内陸地殻内地震とプレート間地震、海洋プレート内地震で領域分けしている。

## 3 建屋・機器 fragility 評価

fragility 評価とは、耐震計算書、各種耐震試験データ等に基づいて地震動の大きさに応じた荷重(応答)に対する安全機能を有する構築物、系統及び機器の壊れやすさを確率論的に評価したもので、第3図に示すとおり応答の確率分布が耐力の確率分布に重なっていく割合を基に評価している。

建屋のフラジリティ評価では、安全機能を有する系統及び機器が内包される建屋を対象に、応答解析により耐震壁のせん断破壊等を評価している。

機器・配管系のフラジリティ評価では、ポンプ、配管・弁、熱交換器等の機械系機器と制御盤、電気盤、蓄電池等の電気・制御系機器を対象とし、動的機能又は電氣的機能並びに構造強度をそれぞれ評価している。動的機能及び電氣的機能については、振動台による実証試験データ等の損傷データや機能確認データを用いて耐力を設定し、安全係数法により評価している。また、構造強度については、構造解析によって評価対象に応じて降伏、座屈、せん断によるアンカ損傷等の損傷モードを検討した上で、限界荷重(耐力)を算定し、安全係数法により評価している。それぞれの機器等について、動的機能又は電氣的機能並びに構造強度をそれぞれ評価し、結果の厳しい方(壊れやすい方)をその機器等のフラジリティとして設定している。



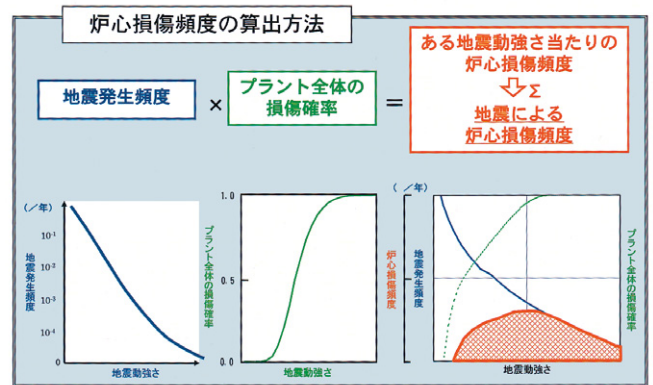
第3図 建屋・機器フラジリティ評価

## ●4● 事故シーケンス評価

事故シーケンス評価では、上記1の内的事象PSAの事故シナリオを参考としているが、地震を起因として特徴的な主要変圧器等が地震動強さに対して比較的壊れやすいと評価しているため、保守的に長期間の外部電源喪失が必ず発生するものと想定している。また、原子炉圧力容器、原子炉格納容器、原子炉建屋、原子炉冷却材圧力バウンダリにつながる配管等が地震動強さに対して損傷し、炉心損傷に直接つながるパスとして追加している。

地震を起因した事象に対処するための「原子炉停止」、「炉心冷却」、「格納容器除熱」の安全機能には、偶発的な故障であるランダム故障率や人的過誤率の考慮に加えて、地震動強さによる損傷確率も設定している。また、安全機能は地震によって共通要因として影響を受けることを踏まえて、同一床レベルに多重に設置されている系統・機器についてはモデル化に当たって適切な考慮を図っており、例えば、保守的に一系統のみをモデル化している。

炉心損傷頻度の算出は、地震ハザード評価で求めた地震発生頻度と、事故シーケンス評価で設定した事故シナリオに建屋・機器フラジリティ評価で求めた安全上重要な構築物、系統及び機器の損傷確率を組み合わせることで求めたプラント全体の損傷確率を掛け合わせて、ある地震動強さ当たりの炉心損傷頻度をそれぞれ求め、第4図に示すとおり原子炉が地震によって自動停止する地震動強さ以上の範囲に亘って積分(赤の網掛けの部分)することによって求めている。



第4図 事故シーケンス評価

## ●5● 今後の展望(活用の方向性)

平成23年3月11日に発生した福島第一原子力発電所事故では、東北地方太平洋沖地震による地震動と津波により1~3号機が炉心損傷するというシビアアクシデント(以下「SA」という。)に至った。

今回の事故を受けて国は、津波を原因とするSAを避けるための緊急安全対策や水素爆発対策など直ちに取組むべきSAへの対応措置の実施を指示し、当社は適切に対応を行っている。さらに、国は設計上の想定を超える外的事象に対する頑健性に関する総合的評価(ストレステスト)の実施を指示し、当社は現在評価を実施しているところである。

このような背景から、原子力安全委員会は「発電用軽水型原子炉施設におけるシビアアクシデント対策について」を決定(23年10月)し、24年度から新たに発足する予定の原子力規制庁では、原子炉等規制法の見直しの一つとしてSAも考慮した安全規制への転換を開始する予定となっている。

SAの安全規制化に伴う解析・評価としては、内的事象及び外的事象(地震、津波、内部溢水、火災等)のPSAを整備していくことが有効であり、それぞれのPSAの知見から得られる各種情報を基に、幅広く活用していくことが考えられる。



執筆者/岩谷泰広