原子力プラントの地震・内部溢水複合事象の動的リスク評価

Dynamic Risk Assessment of Combined Event of Earthquake and Seismic-induced Internal Flooding in Nuclear Power Plant

*張　承賢 [1]，鈴木　貴大 [2]，山口　彰 [3]
[1] 東大院・原子力国際専攻，[2] 東大・工，[3] 東大院・原子力専攻

原子力発電所タービン建屋における地震起因の内部溢水事象に対して連続マルコフ過程モンテカルロ法(CMMC 法)を用いて求めた時間進展による水位上昇を考慮した安全設備の内部溢水による機能損傷確率と、複数の地震動を考慮して求めた地震による機能損傷確率を、フォールトツリー(FT)に組み込むことで、原子力プラントにおける地震と内部溢水事象のカップリングシナリオについて定量化を行った。

キーワード：連続マルコフ過程モンテカルロ法（CMMC 法)、内部溢水、複合事象、動的リスク評価

1. 緒言　内部溢水事象発生時に安全上重要な設備の機能喪失確率は水位上昇に伴い変化する。溢水伝播経路を考慮し、時間進展による水位変化を把握できれば、炉心損傷に至るまでの時間猶予を評価することが可能となり、原子炉施設の効果的なアクシデントマネジメント（AM）策の整備に有用であると考えられる。本研究では、タービン建屋内の非耐震性配管の地震起因の内部溢水事象を仮定し、CMMC 法を用いて時間進展による水位上昇を考慮した安全設備の内部溢水による機能損傷確率と複数の地震動レベルに応じた各設備の地震による機能損傷確率を求める。これらを各設備の機能喪失確率の FT に組み込むことで、炉心損傷確率の時刻歴変化を評価し、地震(外部)と溢水(内部)複合事象のシナリオ定量化を行う。

2. 内部溢水シナリオ評価モデル　内部溢水による水位上昇は、溢水源、溢水区画、漏えい量を同定し、伝搬経路における漏えい量を計算することで評価する。伝播経路における漏えい量は、止水板からの越流量(式 1)と止水板の破損によって生じた隙間(断面積 A)からの浸水量(式 2)によって決まる。

$$Q_{overflow} = {}^{2}/_{3} \times W \times \sqrt{2g} \times h^{3/2} \quad (1)$$

$$Q_{leak} = c \times A \times \sqrt{2g\Delta h} \quad (2)$$

(***W***:水路幅、***h***:止水板における水位の差、***c***:流量係数、***g***:重力加速度、***Δh***: 止水板間の水位差)

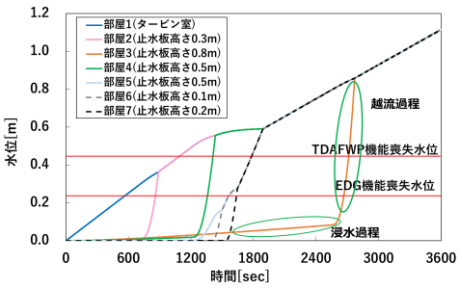

図 1 溢水伝播による各部屋の水位

図 1 に内部溢水伝播モデル[1]を用いて計算した各部屋における水位変化を示す。タービン動補助給水系ポンプ(TDAFWP)と非常用ディーゼル発電機(EDG)の機能損傷水位は 45cm と 23cm であり[2]、溢水によって部屋内水位が機能損傷水位に達すると内部溢水による設備の機能損傷確率を 1 とみなす。また複数の地震動の加速度に対して安全設備の機能損傷確率を求め、一部の結果を図 2 に示す。加速度が 300 gal の時には 1500 秒まで EDG より MDAFWP（モータ動補助給水ポンプ）の機能損傷確率が高くなっているのに比べ、1200 gal 時には常に MDAFWP の機能損傷確率が EDG より高い。これは加速度に応じて炉心損傷に至る支配的なシナリオが変わることを示唆する。FT を用いて溢水と地震による安全設備の機能損傷確率から求めた機能喪失確率をイベントツリーに組み込むことで、内部溢水事象の時間進展による水位変化と複数の地震加速度モードを考慮した炉心損傷確率を求めた。

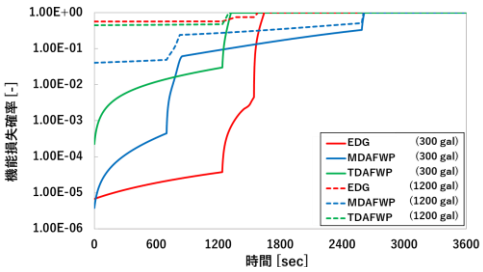

図 1 各設備の機能喪失確率

3. 結論　本研究では、内部溢水及び地震の複合事象に対して時間進展と複数地震動モードを考慮したシナリオ定量化手法を構築した。各部屋内の時間進展による水位変化を評価することで、内部溢水に対する AM 策の効果を定量的に評価することが可能となった。また複数の地震動モードによる安全設備の機能損傷確率を評価することで地震によって生じる固有な内部溢水シナリオについて評価を行うことが可能となった。

参考文献

[1] 松田高志他、原学会 2014 年春の年会、N21、2014、　[2]Dominion, Internal Flooding Risk Reduction Activities, 2006

*Sunghyon Jang[1], Takahiro Suzuki[2], Akira Yamaguchi[3]
[1]Department of Nuclear Engineering and Management, The University of Tokyo [2]Department of Engineering, The University of Tokyo, [3]Nuclear Professional School, The University of Tokyo