

原子炉構造レジリエンスを向上させる破損の拡大抑制技術の開発

(19) 破損モードと安全機能に着目した配管フラジリティ評価手法の研究

Development of failure mitigation technologies for improving resilience of nuclear structures

(19) Study on fragility analysis method for piping system focusing on its failure modes and safety function

*真野 晃宏¹, 佐藤拓哉¹, 一宮正和¹, 笠原直人¹

¹東京大学

Abstract: 設計想定を超える事象に対しては、発生防止と影響緩和の双方の対策が有効である。対策を効果的に行うには、リスク情報の活用が重要である。本研究では、設計想定を超える過大地震を受ける配管系を対象に、破損モードと配管の持つべき機能に着目したフラジリティの合理的な評価手法を提案する。

キーワード: 設計想定を超える事象 (BDBE)、地震荷重、配管、フラジリティ

1. 緒言

効果的なリスクの低減対策には、確率論的リスク評価を踏まえたリスク情報の活用が重要である。設計想定を超える事象 (BDBE, Beyond Design Basis Events) には、影響緩和と発生防止の双方の観点からの対策が有効である。過大地震を受ける配管系については、機能低下の小さい破損モードを許容した上で、機能低下の大きい破損モードに着目して抑制する対策が有効であると考えられる。本研究では、合理的なリスク低減対策を目的として、配管の破損モードとその発生確率を評価する新たなフラジリティ評価手法を提案する。

2. 破損モードと安全機能に着目したフラジリティの評価手法

2-1. 配管の破損モードとその評価手法

地震により配管系に発生しうる破損モードは、疲労破壊、ラチェット変形及び塑性崩壊である。ラチェット変形及び塑性崩壊は、図1に示す一次応力と振動数比(地震動の振動数と配管系固有振動数の比)に基づき地震応力に対して設定された破損発生クライテリア[1]により評価される。

2-2. フラジリティ評価手法

材料物性等の不確かさを有する確率変数に対してランダムサンプリングを行う。地震時に配管に生じる一次応力と地震応力を評価するとともに、振動数比を考慮して上述のクライテリアを求める。両者を比較することで、地震動の強さに対応する各破損モードの発生確率を評価する。

2-3. フラジリティ評価例

鉛製配管試験体[2]を対象に一次応力 3.6MPa を生じさせ、振動数比 0.2 の地震動の加速度に対応する破損モードの発生確率を評価した。その結果を、地震 PRA 学会標準の耐力係数と応答係数による方法の評価結果と併せて図2に示す。ラチェット変形の発生確率は地震 PRA における損傷確率とほぼ同じであった。一方、崩壊の発生確率はこれらより低く、崩壊発生確率が有意な値となるのに要した加速度は、ラチェットの発生確率及び地震 PRA の損傷確率の場合のおよそ 3 倍であった。ラチェット変形から崩壊への破損拡大を抑制することができれば、冷却機能を維持できると考えられる。

3. 結論

地震荷重により生じる破損モードとその影響因子を考慮したフラジリティ評価手法を提案した。過大地震を受ける配管系のリスク低減対策の効果の確認等への活用が期待される。

参考文献 [1]Sasaki et al., Frequency Dependency of Beam Collapse due to Vibration Loads, ASME PVP2020-21375, 2020.

[2] 中村ら、模擬材料を使用した配管系の地震時破損モード調査, 日本機械学会論文集, 86 巻 88 号、00187(1-20)、2020

*Akihiro Mano¹, Takuya Sato¹, Masakazu Ichimiya¹, and Naoto Kasahara¹

¹The Univ. of Tokyo

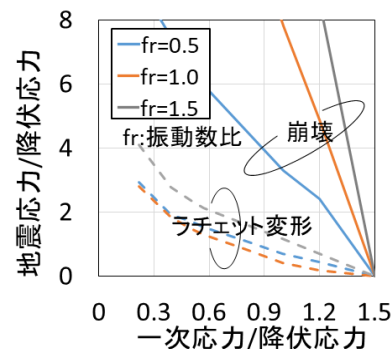


図1 破損発生クライテリア

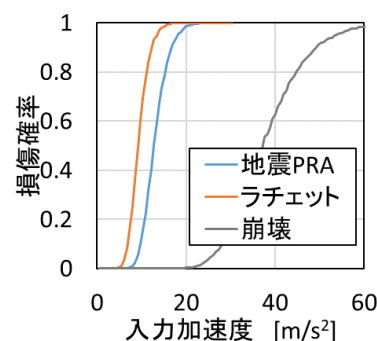


図2 評価結果