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
(5) 破壊制御による破損拡大抑制法の提案

Development of failure mitigation technologies for improving resilience of nuclear structures

(5) Proposal of failure mitigation methods by fracture control

*笠原 直人 [1], 山野秀将 [2], 中村いずみ [3], 出町和之 [1], 佐藤 拓哉 [1], 一宮正和 [1]

[1] 東京大学 [2]JAEA [3]防災科研

破壊制御を利用して、設計想定を超える事象によって破損が生じた場合に、その拡大を抑制する技術の開発を進めている。次世代高速炉の超高温時と過大地震時の原子炉容器と配管を例として、具体策の検討を進めた。

キーワード：設計想定を超える事象、破損拡大抑制、破壊制御、次世代原子炉、原子炉容器、配管

1. はじめに

破壊制御は、安全性への影響の小さい破損モード（変形や小さなき裂）を先行させることによって荷重やエネルギーを低減させ、安全性への影響の大きい破損モード（崩壊や破断）へ破損が拡大するのを抑制する考え方である。この考え方を適用して、次世代高速炉の超高温時と過大地震時の破損拡大抑制の具体策を検討した。

2. 次世代高速炉の破損拡大抑制法

(1) 超高温時の原子炉容器の破損拡大抑制策の検討

次世代高速炉の原子炉容器は図1に示すように建屋から上吊り支持されている。超高温となる事故が発生した場合に、応力の高い容器上部（A 部）が弾塑性クリープ変形で下方向に延び破断に至る可能性がある。ここで、容器下部鏡（B 部）が床と接触すると、A 部で支持していた荷重が B 部に再配分され、A 部の破断が抑制される。さらに炉心支持構造 C が下方向に変形した場合には炉心が浸漬し易くなる。以上から超高温下で炉心の冷却を継続できる。

(2) 過大地震に対する原子炉容器・配管の破損拡大抑制策の検討

高速炉の原子炉容器は薄肉大口径であるため、過大地震時には図 2 のような座屈が発生する可能性がある。また、崩壊熱除去配管は、自然循環力を確保するため鉛直方向に長くなることから、地震時の流路機能確保に留意する必要がある。ここで、座屈が起こると容器の固有振動数が顕著に低下する。また支持構造が破損すると配管の固有振動数が低下する。図 2 右側は静的荷重と動的荷重の変位応答の比である。横軸は振動数比であり、1を超えると動的荷重に対する応答は静的荷重より低下する。このことから、破損により振動数比が上昇すると拡大が自己抑制される。

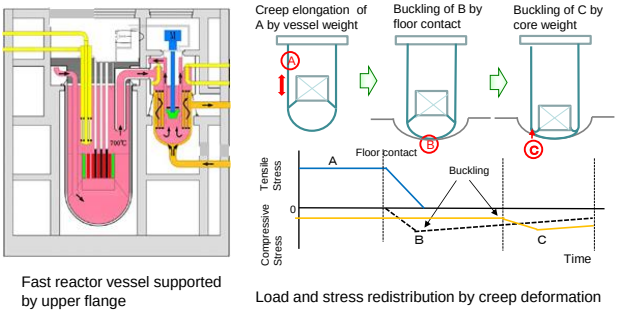

図 1 超高温時の原子炉容器の破損拡大抑制例

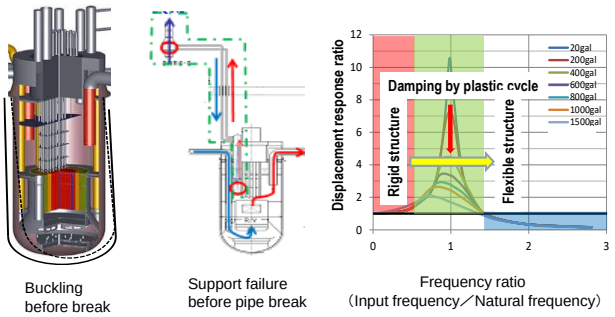

図 2 過大地震に対する原子炉容器・配管の破損拡大抑制例

3. おわりに

上記破損拡大抑制策を実現するために、座屈後も破損までに十分に変形余裕のある容器構造や、配管支持構造破損後も塑性変形が崩壊や破断に拡大しにくい配管システムの研究を行っている。また、破損拡大の抑制が、次世代高速炉のレジリエンス向上に貢献する効果を可視化していく計画である。

本研究は文部科学省原子力システム研究開発事業 JPMXD0220353828 の助成を受けたものである。

* Naoto Kasahara1, Hidemasa Yamano[2], Izumi Nakamura[3], Kazuyuki Demachi[1], Takuya Sato[1] and Masakazu Ichimiya[1]

[1]Univ. of Tokyo [2]JAEA [3]NIED