

極限荷重に対する原子炉建造物の破損メカニズム解明と破局的破壊防止策
(12) 深層防護1層～3層(設計)とは異なる第4層のための構造強度研究

Failure mechanism under extreme loading and prevention of catastrophic failure

(12) Structural strength study for the 4th layer of DiD distinguished from the design

*笠原直人¹, 佐藤拓哉¹, 中村いずみ², 町田秀夫³, 金伝栄⁴

¹東大, ²防災科研, ³TEPSYS, ⁴CTC

福島原子力発電所事故の教訓から、深層防護1層～3層(設計)とは異なる第4層のための、新たな想定破損モードとモード判定マップ、安全裕度を含まない限界強度予測から構成される構造強度評価体系を提案した。

キーワード：深層防護、影響緩和、リスク評価、構造強度、最適評価

1. 緒言 福島原子力発電所事故の教訓として、深層防護の「第1層から第3層(設計)」に加えて「第4層(設計を超える状態)」への重点的な取り組みが要求されている。第4層において取り得る有効な対策を立案するには、壊れる場所、順番、破損モードの特定と各破損モードに対する最適強度評価を介した現実的な事故シナリオを描く必要がある[1]。

2. 破損モードの想定と識別 深層防護1層～3層(設計)に比較して、第4層では荷重条件が厳しくなることから、表1に示すように想定破損モードの種類が異なってくる。また事故シナリオを描くには、放射性物質に対するバウンダリ破損に結びつく破損モードと、過大変形などのようにバウンダリ破損に直接結びつかない破損モードとを区別する必要がある。従来の設計時の評価では、全ての破損モードについて安全側の評価をすれば十分であり、これらを区別する必要性は高くなかった。これに対し、第4層評価では、破損モードの識別が必要になる。

3. 破損モードマップと限界強度評価法の提案 表1 深層防護第1層～第3層と第4層の評価法比較

これまでの関連研究成果に基づき設計基準事象(深層防護1層～3層)とは異なる、設計を超える事象(深層防護4層)の極限荷重に対する限界強度評価法の枠組みを提案した(表1)。

破損モードマップに基づき荷重と形状から破損モードを判定する。次に、モード毎に強度支配因子を解析により予測し、安全裕度を含まない限界強度を予測する。

4. レジリエントな対策に向けて

現在の原子力発電所の設計は、設計基準

内において保守的である反面、限界を超えると破局的な破壊に至る可能性がある。今後は、第4層(設計を超える状態)を強化するため、本研究成果を展開し、限界を越えても周辺から徐々に壊れていくことで荷重エネルギーを散逸させ、肝心な部分を護るようにする破壊制御(Fracture Control)の考え方を適用していきたい。

謝 辞

本研究報告は、文部科学省国家課題対応型研究開発推進事業原子力システム研究開発事業の成果である。関係各位に記して謝意を表します。

参考文献

[1] IAEA SSR-2/1, Safety of Nuclear Power Plants: Design Specific Safety Requirements (2012)

*Naoto Kasahara¹, Takuya Sato¹, Izumi Nakamura², Hideo Machida³ and Chuanrong Jin⁴

¹ Tokyo Univ., ² NIED, ³ TEPSYS, ⁴ CTC

荷重モード	第1層から第3層(設計) 全ての破損モードを保守的に評価			第4層(設計を超える状態) 実際に起こる破損モードを破損モードマップで判定		
	破損モード	強度因子と評価法	クライテリア	破損モード	強度因子と評価法	クライテリア
高圧内圧	延性破壊	弾性解析による応力	許容応力	延性破壊	非弾性解析による弾塑性ひずみ(仮設ポイド)	真破断ひずみ
	クリープ破断	弾性解析による応力	許容応力	クリープ破断	非弾性解析によるクリープひずみ(応力履歴)	時間消費則または延性消耗則(Dc)
				局部破壊	非弾性解析による弾塑性クリープひずみ、多軸度	多軸度を考慮した真破断ひずみ
高温外圧	弾塑性座屈	弾性解析による応力	許容応力	弾塑性座屈	座屈荷重	構造不安定変形開始荷重
				クリープ座屈	座屈荷重、時間、温度	構造不安定変形開始条件
				座屈後破断	非弾性解析による弾塑性クリープひずみ	真破断ひずみ
過大地震	(低サイクル疲労)	弾性解析による応力	応力範囲、繰返し数	低サイクル疲労	非弾性解析による弾塑性ひずみ	疲労損傷係数(Df)
	脆性破壊	弾性解析による応力	許容応力	脆性破壊	非弾性解析による変形	構造不安定開始荷重
	延性破壊	弾性解析による応力	許容応力	延性破壊	非弾性解析による弾塑性ひずみ	真破断ひずみ