

破壊制御技術によるレジリエンス向上効果の レジリエンス指標を用いた可視化

Visualization of resilience improvement effect by fracture control technology using resilience index

東京大学大学院	出町 和之	Kazuyuki DEMACHI	Member
東京大学大学院	桑原 悠士	Yuji KUWABARA	Student Member
東京大学大学院	陳 実	Shi CHEN	Member
東京大学大学院	笠原 直人	Naoto KASAHARA	Member
日本原子力研究開発機構	西野 裕之	Hiroyuki NISHINO	Non-Member
日本原子力研究開発機構	小野田雄一	Yuichi ONODA	Non-Member
日本原子力研究開発機構	栗坂 健一	Kenichi KURISAKA	Non-Member

Our aim is to develop a technology to suppress the expansion of accident damage by improving the reactor structural resilience as a solution to the problem of restoring the safety function of structures after destruction, which has been an issue since the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. In this research, the visualization method of resilience of nuclear structures was proposed in order to visualize the capacity to mitigate and to recover safety function loss by applying and improving the resilience index

Keywords: Resilience Index, Fracture Control, Continuous Markov chain and Monte Carlo method

1. 緒言

レジリエンスとは、分野や文脈によってその定義や意味合いに幅を持つが、システム内外の変動に起因する擾乱に対してシステムが動的に適応し、その果たすべき機能を平常に保つ、あるいは機能を喪失したとしても適切に回復できる能力を意味する[1][2]。原子力分野におけるレジリエンスの重要な代表例が、設計想定を超える事態に対する原子力プラントの対応能力である。この能力を簡易定量的に評価することを目的とし、日本保全学会・保全指標検討会が提案・開発したのが「レジリエンス指標」[3][4]である。この手法はアクシデントマネジメント(AM)策の一連の措置に関して所要時間や対応裕度をそれらの累積(積み上げ)を考慮しながら定量評価して陽に明示することに特色があり、AM策や保全活動の変更等による対応裕度への影響を評価することが出来る。

一方、破壊制御とは破壊現象の積極的な制御のことである。これを原子炉構造に導入することで、安全上重要な機器構造物の事故時の機能低下を抑制できるとともに回復能力も高まる、レジリエンス性の向上が期待できる。

本研究では、破壊制御によるレジリエンス性向上、すなわち安全機能低下抑制能力と回復能力の向上の可視化の

ため、レジリエンス指標を改良することを目的とする。

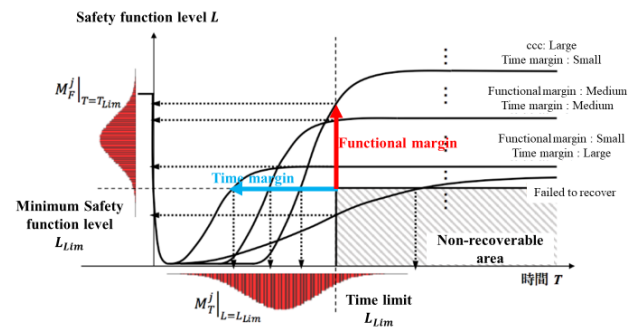


Fig.1 Concept of safety function recovery in resilience index

2. レジリエンス可視化手法の検討

2.1 破壊制御導入のための課題の抽出

まず、破壊制御の導入により何が起こるかを考察した。はじめに、Fig.2の①のように安全機能低下が抑制される。次に①の効果により時間的な余裕が発生するため、②のように従来は実行できないと考えられていた新たなAMを考慮できる。また、機器の破損が抑制されたことで、③のように安全機能の回復の容易性と早期性が向上する。レジリエンス指標に破壊制御を導入するには、これら①～③の効果を取り入れる必要がある。さらに、これら①～③を導入するためには、④のようにすべての現象とAM活動を、時間の関数として動的に扱う必要がある。これら

①～④の課題をクリアするためレジリエンス指標改良の提案について次節より述べる。

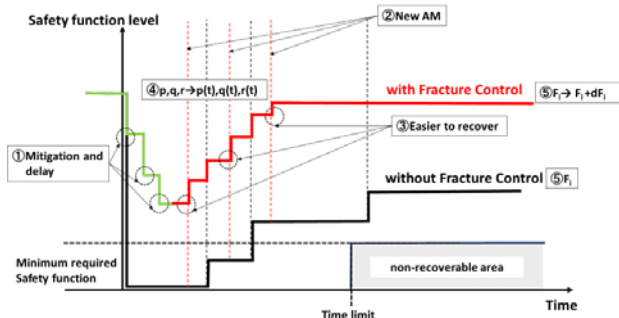


Fig.2 Concept of safety function recovery in resilience index with fracture control

2.2 レジリエンス抵抗性と回復性の導入

①のレジリエンス抵抗性と③のレジリエンス回復性をフラジリティの低下によりモデル化することを提案する。すなわち、Fig.3のようなフラジリティカーブが破壊制御効果により右側にシフトする定量的モデルを構築する。

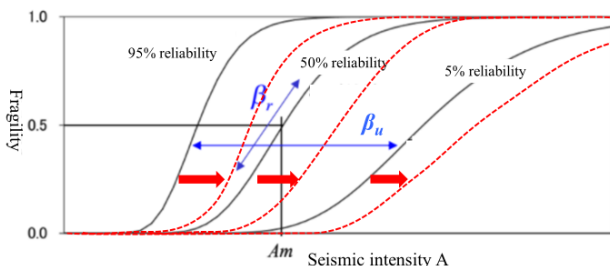


Fig.3 Concept of fragility curve shift by fracture control

2.3 新たな AM 策の追加

②で述べた新たな AM 策の追加については、JAEA・山野氏らが解析する破壊制御の効果を考慮した場合のイベントツリー(Fig. 4)を参考に、レジリエンス指標のシーケンスに新たな AM を追加して解析する。

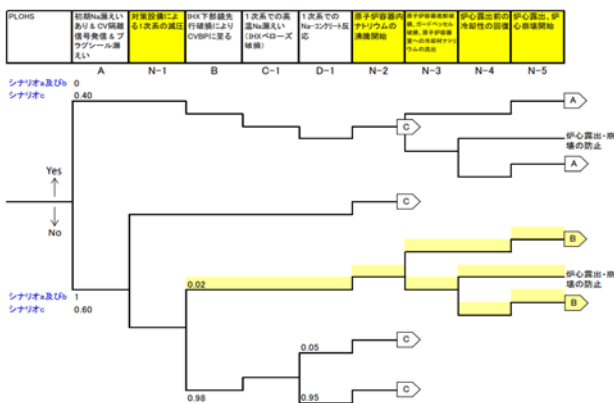


Fig.4 New AM implementation by fracture control by JA EA

2.4 動的解析の導入

④の動的解析の導入については、Fig.5に示す連続マルコフ過程モンテカルロ法の適用を提案する。これにより、シーケンス上の任意の時間におけるプラント状態、およびプラント状態に依存する AM 活動の成否確率を評価でき、動的解析の実施が可能となる。

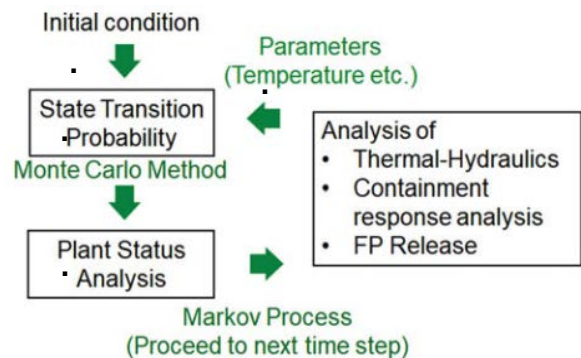


Fig.5 Continuous Markov chain and Monte Carlo method [5]

3. 結論と今後の課題

破壊制御による安全機能低下抑制能力と回復能力の向上を、レジリエンス指標を用いて可視化するために必要なレジリエンス指標の3つの改良を提案した。今後はこれらの改良案のプログラミング実装を行う。

謝辞

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す。

参考文献

- [1] E. Hollnagel, D.D. Woods and N. Leveson: "Resilience engineering: Concepts and precepts", Ashgate Pub Co. (2006)
- [2] L. Carlson, G. Bassett, W. Buehring et al.: "Resilience: Theory and applications", ANL/DIS-12-1, Argonne National Laboratory (2012)
- [3] K. Demachi, M. Suzuki, H. Miyano et al.: "Development of resilience evaluation method for nuclear power plants (Part 1: Proposal of resilience index for assessment index of safety of nuclear power plant under severe accident)", E-Journal of Advanced Maintenance, Vol.8, No.2, pp.23-31 (2016)
- [4] M. Suzuki, K. Demachi, H. Miyano et al.: "Development of resilience evaluation method for nuclear power plants (Part 3: Study on evaluation method and applicability of resilience index)", E-Journal of Advanced Maintenance, Vol.9, No.1, pp.1-14 (2017)
- [5] Sunghyon Jang and Akira Yamaguchi, "Dynamic scenario quantification for level 2 PRA of sodium-cooled fast reactor based on continuous Markov chain and Monte Carlo method coupled with meta-model of thermal-hydraulic analysis", Journal of Nuclear Science and Technology 55(8):1-9 (2018)