

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 Jerry Harold Phillips
(じえりー・はろると・ふいりっぷす)

原子力発電プラントにおいて用いられる従来の確率論的リスク評価(Probabilistic Risk Assessment: 以下 PRA)には機器の経年変化が考慮されておらず、PRAの起因事象となっていることを除けば、配管等のような静的機器の影響はほとんど検討されてこなかった。

本論文は、経年変化を受ける静的機器の破損確率評価と原子力プラントの PRA 評価を統合化し、これを用いて行ったリスク解析研究の成果をまとめたものであり、全部で8章から構成されている。

第1章では研究目的と用いた手法について述べている。

第2章では解析対象の選定方法について述べている。破損確率の大きさと損傷時の影響度の大きさ、及び溶接部の応力発生要因を総合的に勘案して、予備給水系のチェックバルブ下流部の溶接部位を選定した。

第3章では、本研究で破損確率評価に用いた確率論的破壊力学プログラムの機能について述べている。本研究では、オリジナルのコードを諸物性値の経年変化挙動と繰り返し荷重条件を適用できるように改良して用いた。また、設計基準に準拠した漏洩検知基準などの破損基準もコードに組み込んだ。

第4章では 確率論的破壊力学解析コードの入力データ、特に溶接部の応力発生要因と物性値について述べている。ここでは経年変化した溶接部の物性値に関する大規模な調査研究を実施した。

第5章では、破損確率解析の結果とその解釈について述べている。従来確率論的破壊力学解析の研究では、累積破損確率が計算され、時間とともに漸増する傾向が得られていた。一方、PRAの入力としては、毎年の破損確率レート(ハザードレート)の経時変化が重要である。そこで、静的構造機器の破損確率に関してもハザードレートを計算したところ、初期に増大した後に、次第に減少することを確認した。経年変化する配管系のハザードレートが時間とともに減少するというのは、予想とは大きく異なるものであった。その原因を探るために、半楕円形き裂が時系列的にどのように発達するかを調査し、き裂の深さ-アスペクト比空間上の軌跡をプロットした。この軌跡図より、本配管の荷重環境では時間進展に伴い、き裂長手方向よりも深さ方向に進展し、結果的に破断領域から漏洩領域に向うことが確認された。ハザードレートの減少は、ポンプやバルブ等の動的機器で観察されるいわゆるバスタブカーブの一部と推定できる。バスタブカーブは、動的機器の破損確率の経年変化現象として広く受け入れられている考え方であるが、これまで静的機器において議論されたことはなかった。

第6章では 確率論的破壊力学解析に関する不確実性の評価について述べている。破損確率評価結果は用いる入力データに影響を受ける。そこで各種物性値や応力サイクル、初期き裂サイズを様々に変化させた感度解析を行なったが、いずれのケースにおいて、ハザードレートは第5章で述べたものと同様の傾向を持つことが示された。

第7章では、静的機器の PRA への適用について述べている。ここでは、静的機器を含められるように PRA にいくつかの変更を行なった。本 PRA を用いて、予備給水系溶接部の破損確率に対する炉心損傷確率(Core Damage Frequency)が求められた。今回の結果から、もし予備給水系の破損確率が1

に近づくなら CDF は 0.1 に近づくことが示された。一方、本溶接部の破損確率の変化の範囲では、CDF に増加はみられなかった。

第 8 章では、本研究で得られた結論について述べている。本研究では、き裂が破断領域から漏洩領域へと進展するために、時間とともに減少するハザードレートが得られた。これは動的機器において広く受け入れられている破損率に関するバスタブカーブの一部が静的機器にも当てはまることを示しており、重要な発見である。ただし、万が一、漏洩領域から破断領域にき裂が進展するようなプラント運転モードが存在する場合には、ハザードレートが時間とともに増大する可能性もあり、こうした視点からの継続的な検討が必要である。次に、経年変化を受ける静的機器が炉心損傷確率に与える影響も定量的に明らかとなり、リスク重要度の高い静的機器が存在するものの、そのハザードレートを勘案するとその影響はかなり小さいことがわかった。

以上を要するに、本論文は、経年変化を受ける静的機器の破損確率と原子力プラントの確率論的リスク評価を、綿密なデータ収集とモデル構築のもとに具体的に統合化した研究であり、静的機器のリスク重要度及びその経年変化がリスクに与える影響をはじめ定量的に明らかにした研究成果をまとめたものであり、原子力プラントをはじめとする複雑巨大システムのリスク工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。