

研究成果報告書

研 究 題 目		厚肉シェル要素を用いた変動荷重が作用する シェル構造物の安全性評価に関する研究	実 施 年 度
			2022年度
代 表 研 究 者	所 属	広島大学 大学院先進理工系科学研究科 輸送・環境システムプログラム	
	氏 名	山本 剛大	印
1. 研究の目的・背景 近年、シェル構造物の変動荷重に対する安全性の評価が重要となっており、設計段階への有限要素解析の導入が不可欠となっている。有限要素解析において、ソリッド要素は多くの節点で変形を表現するため、シェル要素に比べて計算コストが膨大となる。そのため、構造解析にはシェル要素が積極的に利用される。 パイプラインや圧力容器などのシェル構造物のモデル化にはシェル理論に基づいたシェル要素が一般的に用いられるが、シェル理論では圧力荷重が作用する状況を適切に考慮できない。さらに、力学的な仮定を含む座屈解析では実際に生じる座屈モードが欠落して評価されるため、通常のシェル要素を用いた座屈解析では構造物の力学挙動を精確に把握できているとはいえない。 シェル構造物の設計では、はり理論・シェル理論や限定的な条件下の実験データから外挿した式に基づいて、簡易的な解析が行われてきた。しかしながら、パイプラインや圧力容器などのシェル構造物は、静的・動的な荷重が常時作用する極めて過酷で予期せぬ崩壊現象が発生しやすい環境下にあるため、これまでの解析手法では構造物の安全性を十分に評価できていない。そのため、圧力荷重が変動する状況において、シェル構造物に生じる不安定な挙動を精確に把握するためには、シェル理論の仮定が排除された有限要素解析を実現し、力学的な仮定を含まない座屈モードの解明が必須である。 本研究では、シェル理論の仮定を排除した厚肉シェル要素を活用し、動的問題にも対応できる解析技術を開発することで、圧力荷重の変動に伴うシェル構造物の安全性が精確に評価できる座屈解析の実現を最終目標とする。基礎検討として、シェル要素による動的解析の特徴を把握し、厚肉シェル要素を動的問題に適用するための定式化ならびにプログラムへの実装を行った。			

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

本研究は、厚肉シェル要素の動的問題への適用、表面に作用する荷重の評価、プログラムへの実装と検証、の3つの課題を実施した。

・厚肉シェル要素の動的問題への適用

代表研究者が開発している厚肉シェル要素は、通常のシェル要素が持つ面内節点に加えて、板厚変化を表現するための面外節点が導入されている。面外節点の自由度は面内節点の自由度と独立であると定義しているため、要素ごとに面外節点の自由度を縮約できる。これにより、厚肉シェル要素を用いて構築される剛性行列の大きさは、通常のシェル要素から導出される剛性行列と同等の大きさとなる。したがって、静的問題での剛性行列を動的問題にそのまま適用できる。また、厚肉シェル要素を動的問題に適用するために、質量行列を検討した。本研究では、通常のシェル要素で構築される質量行列と同様の質量行列を用い、解くべき運動方程式を定義した。

・表面に作用する荷重の評価

空間方向に一樣でない荷重を要素単位では一樣に作用していると近似することで、外力（要素の表面に作用する荷重）による仮想仕事を面内節点の自由度に対する仮想仕事と面外節点の自由度に対する仮想仕事の和として表現した。このとき、面内節点は隣り合う要素で共有されているため、面内節点に作用する荷重は要素内で一樣であるとは限らない。上述の近似について、荷重条件と要素分割の関係からモデル化の妥当性を検証し、場所によって局所的な荷重（点荷重に近い外力）が作用しない状況では上述の近似が有効であることを確認した。また、剛性行列を構築する手順と同様に、面外節点の自由度を縮約する際に面外節点に作用する外力が面内節点の自由度に課される外力に追加される。さらに、空間方向だけでなく、時間方向にも変動する荷重の取り扱いを検討した。

・プログラムへの実装と検証

厚肉シェル要素を用いた動的解析を実現するために、静的問題に対するプログラムを動的問題に対応できるプログラムへと拡張した。上記で検討した質量行列の妥当性を検証するために、厚肉シェル要素を用いた座屈解析を実施した。厚肉シェル要素による座屈解析で得られた座屈荷重・座屈モードをソリッド要素の計算結果と比較した。また、変動荷重を取り扱うための自動処理をプログラムに実装した。

以上より、申請時の計画に対する達成度合は70%程度である。

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

申請時に見込んでいたとおり、開発したプログラムの妥当性を評価するために、汎用モデリングソフトウェア、汎用 FEM ソフトウェア、汎用ソフトウェアのライセンス購入を行った。上記に併せて、大規模計算を実施する環境構築のため、PC パーツを購入した。研究材料として、SSD、HDD などの PC 消耗品に使用した。そのほか支出は概ね申請時の計画のとおりであり、不足分は他の経費で対応した。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

本研究で開発した厚肉シェル要素の動的解析プログラムを用いて、変動荷重に対する座屈解析を実施することで、静的・動的な荷重が常時作用する極めて過酷で予期せぬ崩壊現象が発生しやすい環境下にあるシェル構造物の不安定な挙動の精確な把握・予測が期待される。本研究で開発した技術をさらに発展させていくことで、通常のシェル要素では評価できていない力学挙動の評価に適用できる技術の確立を目指す。

本研究で開発した技術の実用化により、パイプラインや圧力容器の崩落によって生じる環境破壊や人的被害を回避した信頼性の高い構造物を効率的に設計できると見込んでいる。特に、これまで困難であったシェル要素による有限要素解析の高精度化が可能となるため、実用に耐えうる計算コストかつ十分なロバスト性を有する数値解析技術の確立を目標として、研究を進めていく予定である。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

本研究で得られた成果について、現在、計算結果を詳細に検証している段階である。十分な検証を経た上で、今後、国内外で開催される学会発表および学術誌への論文投稿を行う予定である。