

氏 名 諸 岡 繁 洋
 学位(専攻分野) 博士 (工 学)
 学位記番号 論工博第3498号
 学位授与の日付 平成12年3月23日
 学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当
 学位論文題目 球形シェルの線形・非線形振動特性に関する基礎的研究

論文調査委員 (主査) 教授 國枝治郎 教授 鈴木祥之 教授 上谷宏二

論 文 内 容 の 要 旨

本論は球形シェル(ドーム状)について、先ず逆対称および非対称の場合に適用できる近似固有モード作成法を提案し、得られた近似固有モードを用いて、水平地震動に対する線形応答解析、非線形応答解析、動的安定限界外力強度の算定、モード連成効果の検討などを解析的手法により遂行し、振動応答特性の解明に勉めた研究結果を纏めたものであり、9章より構成されている。

1章では、球形シェル構造における振動特性に関する既往の研究を整理し、本研究の背景と位置付けを明確にしている。

2章では、球形シェル構造の逆対称および非対称振動解析に十分な精度と実用性を持った近似固有モード作成法の提案を行っている。一般厳正解は複素数次および非整数次の Legendre 陪関数の式で表されるが、近似固有モード式は比較的取り扱いが簡便な直交関数である Legendre 陪多項式を用いて有限級数展開することにより得ている。これによる近似固有モードと対応する固有値は、一般厳正解より得られる固有モードおよび固有値と極めて良い精度で一致している。この近似固有モードを用いてのモード重畳法適用では最終運動支配式の諸係数が閉形関数で与えられるので、解析的考察が可能となる。また、本章の最後に示した近似固有モード対応の固有振動数表は設計時の基準参考資料として極めて高い実用性を持っている。

3章では、前章で与えた近似固有モードを用いたモード重畳法による線形応答解析を遂行して、球形ドーム構造物に水平方向地震動が作用したときの応答性状を解明している。入力地震波として Kobe-JMA 記録波及び El Centro' 40 水平地震動 NS 成分波を用いている。振動時における変形および各種断面力分布状態の例を示し、実設計慣用の応答スペクトルに基づく設計法の不備を明確にして、設計時における実時刻歴応答解析の必要性を示している。

4章では球形シェル構造物のモード連成応答特性を解明するため、無限個のモード中より、建築構造および容器構造の応答に最重要と考えられる対称、逆対称モード群のみを対象とし、両者を同時に考慮した非線形動的応答解析式の定式化を行っている。得られた最終支配式の諸係数は閉形関数で与えられる。本章で示される定式は本論文の次章以降での諸検討の基礎方程式でもある。

5章では先ず、有限要素法解析結果により水平地震動入力下で上下方向応答が誘起されるとされている現象の存在の有無を、解析的に解明している。前章での諸式に基づき記録地震波を用いて、水平方向加振による上下方向応答モードの誘起、および上下方向加振による水平方向応答モードの誘起等のモード連成数値計算を行い、有限要素法による解析結果で上下方向応答と見なしているものは、逆対称変形モードの上下方向変位成分であることを明らかにした。次いで、形状初期不整の影響の検討を行い、動的安定限界強度以下の入力地震動に対する数値結果から形状初期不整の応答値に与える影響は殆どなく、動的不安定現象が発生しない程度の外力下では幾何学的非線形応答解析結果と線形応答解析結果の間には実設計上注目すべき差異は存在しないことを明らかにした。

6章ではいくつかの実地震記録波に対する逆対称変形モードによる動的不安定現象の存在の数値的実証と動的安定臨界入力加速度強度を形状、材料に関するパラメータとの関連に於いて求め、これらのパラメータ値の或る領域においては地震下での実構造物の設計において動的不安定現象に対する対策の必要性を明らかにしている。

7章では周期外力下における1個の逆対称モードの幾何学的非線形定常応答振動状態を解明することを目的とした解析を行っている。応答変形が加振方向と一致する「加振型モード」とそれに直交する方向に誘起される変形モード「随伴型モード」が存在すると仮定した逆対称幾何学的非線形定常応答解析を行い、両モードの存在即ち周方向伝播型モード（回転モード）の存在を指摘し、実設計上の配慮の必要性を示した。

8章では、周期外力下における7章で考慮されていない複数個逆対称モード間連成効果解明を目的とした解析を行っている。複数のモード共存時、個別のモードのみで応答解析結果に比しその応答振幅が小さくなり、モードの連成作用効果による減衰効果類似の現象（本論では構造減衰と呼んでいる）が生じていることを明らかにしている。また、複数モード共存時に構造減衰効果を示し始める入力加速度強度は、単一モード時動的安定限界入力加速度強度により評価できることを示している。

9章は以上の諸研究結果の結論を纏め、考察を加えたものである。

論文審査の結果の要旨

本論文は、大規模空間構造屋根や貯蔵用タンク屋根等に用いられるドーム状球形シェルの水平地震動を主体とした動的外乱に対する線形応答特性、複数モード共存下での幾何学的非線形応答特性、動的不安定現象等を解析的に究明しようとするもので得られた成果は次の通りである。

- 1) モード重畳法によって解析的に動的応答を容易に求めうる極めて精度の良い近似固有モードの作成法の提案を行い、この近似モードに基づいて、厳正解では数値的解明が困難であった非対称振動時固有振動数を形状、材料に関する諸パラメータに関連して与え、設計上有用な資料を与えている。
- 2) この近似モードに基づいて、球形ドームの諸水平地震記録波に対する線形応答特性の解明を行い、設計上の重要な資料を提供している。また、実用的な応答スペクトルに基づく設計法の不備を明確にしている。
- 3) 近似固有モードに基づく幾何学的非線形応答解析式の定式化を行い、それによって逆対称型加振時に対称モード応答の発生の可能性の極めて低いことを明らかにして、既往の数値解析法結果の解釈の不適切さを明確にしている。
- 4) 諸水平地震記録波を対象にした動的不安定挙動の解明と動的安定限界入力加速度強度の算定を行い、形状、材料に関するパラメータ値の或る領域では、設計上、動的不安定解析の必要性を指摘している。
- 5) 幾何学的非線形応答解析によって、複数モード共存時にはモード連成効果として構造減衰類似効果の発生のあること及びその領域特性等を解明し、その発生限界外力強度の簡易算定法の提案を行っている。
- 6) 幾何学的非線形応答として水平加振によって加振方向に直交方向のモードが誘起され、水平面内回転移動型応答モードの存在する場合のあることを見出し、その発生限界の解明を行っている。

以上要するに本論文は、建築構造をはじめ容器構造等に利用の多いドーム状球形シェルについて、動的応答解析を容易ならしめる近似固有モード作成法を提案し、これに基づいて地震時線形、非線形応答特性、動的安定限界外力強度やモード連成効果等の解明を行ったもので、得られた結果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成11年12月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。