学位論文題名

梁に作用する衝撃力に関する研究

学位論文内容の要旨

衝撃を受ける構造物の挙動を明らかにし、信頼性や安全性を検討するためには、衝撃力を正確に評価することが重要である。しかしながら、衝撃力はその実態が十分に解明されていないため、各種の設計基準のほとんどはその影響を考慮するように規定しているものの、具体的な取扱いについては示しておらず、技術者は、構造物の挙動に重要な影響を与えるものの数値計算上きわめてやっかいな衝撃体と構造物の衝突面の局所変形を無視して、静的問題と同様に荷重を仮定し設計を行っているのが現状であり、合理的・経済的設計とは言い難い。また近年、測定機器やコンピューターなどの発展に伴い、測定データに各種の数値的处理を施すことが可能になり、構造物の衝撃問題に関しても、逆解析的な手法を用いて、構造物の変位、ひずみ、加速度などの応答波形から衝撃力を推定する解析も十分可能になってきている。

本論文は、以上のような観点から、構造物の基本的な構成要素の1つである梁を対象にし、衝撃体と梁の間の局所変形を考慮した衝撃力の順解析的な算定方法、および梁の衝撃応答を測定し、測定データをもとに衝撃力を逆解析的に算定する方法を提示し、その適用可能性の検討を行ったもので、4章からなっている。

第1章は本論文の序論であり、研究の背景と目的、既往の研究および論文の内容について記述した。

第2章では、剛球の梁への衝突における衝撃力を順問題として定式化し、その算定法を提示するとともに、妥当性と適用限界を明らかにした。まず、衝撃体と梁の間の局所変形の影響を解析が容易になるように線形ばねによって理想化し、その等価剛性の合理的な評価式を提案した。すなわち、両端が単純支持された梁中央の上下2点に集中荷重が作用する静的問題を考え、三次元有限要素法の適用により求めた静的な剛性を基準にし、これを剛球の衝突速度、剛球と梁の質量および梁の断面形状のパラメータで補正した陽な等価剛性評価式を導出した。この剛性評価式は例えば、静的な方法で求めた剛性は衝突速度および梁断面形状比(スパン長/高さ)が小さければ過大に、大きければ過小であるなど、梁の基本的な衝撃応答特性を理解するうえでも有益である。次に、梁を一次元有限要素法により離散化し、等価剛性式の導出に用いた条件以外の衝突問題も含む広範囲の問題に適用し、提示した衝撃力の算定方法は、細長い片持ち梁で剛球が先端に衝突する場合を除けば、任意の支持条件、衝突位置に対して適用可能であり、また衝撃の様相が一回の衝撃で衝突現象が完了する場合や複数回の衝撃を生じる場合でも有効であることを明らかにするとともに、等価剛性の評価式に現

れるパラメータの適用範囲を Hertz の弾性接触理論を用いた非線形応答解析との比較により明らかにした。

第3章では、衝撃体の梁への衝突における衝撃力について、構造モデルおよびそのパラメータが既知の逆問題として定式化し、ランダムな時系列データを逐次処理でき、また時間領域の同定法として有用な手法の1つであるカルマンフィルタと有限要素法を組合わせて算定する解析法について記述し、その有効性、妥当性を数値シミュレーションによって明らかにした。同定アルゴリズムでは、衝撃力は非定常性もしくは不規則な変動を示し時間依存性が強いのが一般的であるので、カルマンフィルタの有する非定常特性への追従性の悪さを改良するために、マルコフ連鎖の考えに基づく新たな変換行列を提案した。数値検討例では、まず、梁中央に既知の衝撃力を作用させたとき得られる理論的な変位応答波形を模擬観測データとして衝撃力の同定を試み、推定誤差共分散の初期値、観測誤差分散、人為的に付加した観測誤差および提示した変換行列の同定精度に及ぼす影響を検討した。次に、円柱状の鋼製衝撃体が種々の初期速度で鉄筋コンクリート梁の中央に衝突する実験の変位応答波形を観測データとして用いて衝撃力の同定を試み、提示する手法の適用可能性、有効性を明らかにした。

第4章では、総括として各章を取りまとめるとともに本研究の成果と今後の課題に言及している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 三 上 隆
副 査 教 授 佐 藤 浩 一
副 査 教 授 角 田 與史雄
副 査 教 授 大 沼 博 志

学 位 論 文 題 名

梁に作用する衝撃力に関する研究

衝撃を受ける構造物の挙動を明らかにし、信頼性や安全性を検討するためには、衝撃力を正確に評価することが重要である。しかしながら、衝撃力はその実態が十分に解明されていないため、各種の設計基準のほとんどはその影響を考慮するように規定しているものの、具体的な取扱いについては示しておらず、技術者は、構造物の挙動に重要な影響を与えるものの数値計算上きわめてやっかいな衝撃体と構造物の衝突面の局所変形を無視して、静的問題と同様に荷重を仮定し設計を行っているのが現状であり、合理的・経済的設計とは言い難い。また近年、測定機器やコンピュータなどの発展に伴い、測定データに各種の数値的処理を施すことが可能になり、構造物の衝撃問題に関しても、逆解析的な手法を用いて、構造物の応答から衝撃力を推定する解析も可能になってきている。

本論文は、以上のような観点から、構造物の基本的な構成要素の1つである梁を対象にし、衝撃体と梁の間の局所変形を考慮した衝撃力の順解析的な算定方法、および梁の衝撃応答を測定し、測定データをもとに衝撃力を逆解析的に算定する方法を提示し、その適用可能性の検討を行ったもので、4章からなっている。

第1章は本論文の序論として、研究の背景と目的、既往の研究および論文の内容について述べている。

第2章では、剛球の梁への衝突における衝撃力を順問題として定式化し、その算定法を提示するとともに、妥当性と適用限界を明らかにしている。まず、衝撃体と梁の間の局所変形の影響を解析が容易になるように線形ばねによって理想化し、その等価剛性の合理的な評価式を提案している。すなわち、梁中央の上下2点に集中荷重が作用する静的問題を考え、三次元有限要素法の適用により求めた静的な剛性を基準にし、これを剛球の衝突速度、剛球と梁の質量および梁の断面形状のパラメータで補正した陽な等価剛性評価式を導出している。次に、梁を次元有限要素法により離散化し、等価剛性式の導出に用いた条件以外の衝突問題も含む広範囲の問題に適用し、提示した衝撃力の算定方法は、任意の支持条件、衝突位置に対して適用可能であり、また衝撃の様相が一回の衝撃で衝突現象が完了する場合や複数回

の衝撃を生じる場合でも有効であることを明らかにするとともに、等価剛性の評価式に現れるパラメータの適用範囲を Hertz の弾性接触理論を用いた非線形応答解析との比較により明らかにしている。

第3章では、衝撃体の梁への衝突における衝撃力について、構造モデルおよびそのパラメータが既知の逆問題として定式化し、カルマンフィルタと有限要素法を組合わせて算定する解析法について述べている。同定アルゴリズムでは、カルマンフィルタの有する非定常特性への追従性の悪さを改良するために、マルコフ連鎖の考えに基づく新たな変換行列を提案している。数値検討例では、まず、梁中央に既知の衝撃力を作用させたとき得られる理論的な変位応答波形を模擬観測データとして衝撃力の同定を試み、推定誤差共分散の初期値、観測誤差分散、人為的に付加した観測誤差および提示した変換行列の同定精度に及ぼす影響を詳細に検討している。次に、円柱状の鋼製衝撃体が種々の初期速度で鉄筋コンクリート梁に衝突する実験の変位応答波形を観測データとして用いて衝撃力の同定を試み、提示する手法の適用可能性および有効性を明らかにしている。

第4章では、総括として各章を取りまとめるとともに本研究の成果と今後の課題について述べられている。

これを要するに、著者は梁に作用する衝撃力について、局所変形の影響を考慮した局所ばね定数の評価式を用いた実用的な算定法および、有限要素法とカルマンフィルタの組合せによる同定法を提案し、その適用可能性および有効性を明らかにしたものであり、構造力学、衝撃工学に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。