博士（工学）　石　井　　　悟

学位論文題名

間接仮想境界積分法による衝撃応力解析

学位論文内容の要旨

物理量が時間とともに変化する現象は多くの分野で見受けられる。特に，応力波の伝ぱを伴う衝撃現象は構造物などの思わぬ損傷や破壊を招くために，その解明は極めて重要である。物理現象を定量的に明らかにする方法の1つとして数値解法がある。線形静弾性問題に対しては様々な数値解法が提唱され，それらは実用の域に達した感があるが，衝撃問題の数値解法に関する研究は，その重要性が認識されながらも，十分に行われているとはいい難い。したがって，衝撃現象解明のための数値解法を確立することは，工学上重要な課題の1つと考えられる。ところで，衝撃問題は，基本的に，静的問題の数値解法を拡張することで扱うことができる。現在，衝撃問題によく用いられているのは，有限要素法，境界要素法そして差分法である。この中で，最も広く用いられている有限要素法は，複雑な形状を持つ場合と非線形挙動を含む多くの問題に適用可能であるが，領域型の解法であるため，実用問題では入力データ作成に多大な労力が必要であり，また計算機の記憶容量で大きな制約を受ける。これに対し，動的問題への適用も行われつつある境界要素法は，境界型の解法であるため，入力データ作成が容易であり，計算時間も短縮できるが，境界とその近傍での解析精度が著しく低下するので，境界上の応力が対象となる応力集中問題や接触問題では，得られた結果の信頼性が損なわれる。古くから用いられてきた差分法は，有限要素法と同様に，非線形問題への適用が可能であるが，複雑な境界形状の取り扱いが困難である。以上の3解法を線形問題に限って比較すると，境界要素法が有利と思われる。さて，線形静弾性境界値問題の一数値解法として，ポテンシャル論に基づく間接仮想境界積分法がある。これは仮想境界面を考えることにより，境界上の特異積分を必要としないことや，対象としている境界面を含む全領域において滑らかで連続なポテンシャル場が得られるために，境界とその近傍でも高精度の解析が可能となることなど，一般の境界要素法に比べて優れた点を持っている。したがって，この間接仮想境界積分法の衝撃問題への拡張は，意義あることと考えられる。

本論文は，このような観点から，衝撃問題に対する間接仮想境界積分法を提示

し，その妥当性と有用性を明らかにするものであり，全5章から構成されている。その概要は以下の通りである。

第1章は緒論であり，衝撃問題の数値解法に関する現況と問題点に触れ，本研究の目的と意義について述べている。

第2章は衝撃問題に対する基礎理論である。ここでは，微小変形理論に基づく運動方程式の解を，物理空間ではスカラーポテンシャルとベクトルポテンシャルの和で，ラプラス像空間ではガラーキンのベクトルポテンシャルで示している。

第3章は解析法である。ポテンシャル論に基づく一重層ポテンシャルを導入し，間接仮想境界積分法による衝撃問題の解析手順について述べている。この解法は，物理空間においては時間関数の集中力を基本解とし，ラプラス像空間においては集中力を基本解とするが，いずれも，未知密度関数に関するフレッドホルム形積分方程式を解くことに帰着される。さらに，これらの積分方程式の数値解析法について述べている。

第4章は前章で述べた2解法による数値解析例である。まず，時間依存基本解による解法によって，球か内面に衝撃内圧を受ける無限体の問題と2剛平面によって衝撃圧縮される弾性球や衝突する2弾性球の動的接触問題を扱っている。前者では，解析解との比較から，本解法の妥当性を明らかにし，後者では，ヘルツの接触理論を用いた準静的解との比較から，本解法のこの種の動的接触問題に対する適用性を示している。次に，ラプラス変換基本解による解法では，球か内面に衝撃内圧を受ける無限体の問題と切欠き丸棒の動的応力集中問題を扱い，前者では，解析解ならびに既存解との比較から本解法の妥当性を明らかにし，後者では，動的応力集中問題に対する適用性を示している。境界条件の時間依存性で2解法を比較すると，動的接触のように，境界条件が時間に依存するときは，時間依存基本解による解法が有用であり，境界条件が時間に関して既知のときは，ラプラス変換基本解による解法が有利であることが確かめられている。

第5章は結論であり，本解法が衝撃問題に対する有力な一数値解法であることを述べている。

なお，付録に，本解法による結果を検討するため，球か内面に衝撃内圧を受ける無限体の解析解，接触する2弾性球の静的解析解と衝突する2弾性球の準静的解析解を示してある。

学位論文審査の要旨

主査　教授　岸田路也
副査　教授　石川博将
副査　教授　山田　元

学位論文題名

間接仮想境界積分法による衝撃応力解析

衝突現象は微小時間内に生ずる非定常現象であるため、実験的にも数理的にも、その正確な解明が困難とされている。近年、線形静弾性問題の有力な数値解法として境界型の境界要素法が登場し、その後の改良を経て、その適用範囲を幾何学的非線形性や材料非線形性を含む問題などに拡げてきた。しかし、その方法を衝撃問題に適用するための研究は十分に行われていない。

本論文は、線形静弾性問題の一解法として提示された間接仮想境界積分法を、線形動弾性問題の解法へと拡張し、その適用性と有用性について、基礎的研究を行ったものであり、主要な成果は、次の点に要約される。

①微小変形理論での運動方程式の解を、物理空間ではスカラーポテンシャルとベクトルポテンシャルで、ラプラス像空間ではガラーキンのベクトルポテンシャルで表すが、いずれも基本解として、ポテンシャル論に基づく一重層ポテンシャルを導入した。

②時間依存の境界条件が未知のとき、物理空間で時間の関数である集中力に対応する解を用い、それが既知のときは、ラプラス像空間で集中力に対応する解を取上げ、これらの解を用いた間接仮想境界積分法による解析手順を定式化し、いずれも、未知密度関数についてのフレッドホルム形積分方程式を解くことに帰着されることを示した。

③本解法によって、厳密解や信頼すべき数値解のある２・３の問題を解析し、容易に精度の高い解を得ることができることで、本解法の適用性と有用性を示した。

④さらに、今まで準静的にしか解かれていない、剛平面に衝突し跳ね返る弾性球の力学挙動を明らかにし、比較的衝突速度の低いときの準静的解析解の妥当性を評価するとともに、この種の動的接触問題に新しい知見を加えた。

これを要するに、著者は、層ポテンシャルを基本解とする間接仮想境界積分法を衝撃問題に初めて適用し、衝撃問題の解法上有益な新知見を得ており、材料力学の進歩に貢献するところ大である。

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。