半無限弾性体内部の定常加振問題に関する基礎的研究

高谷，富也

(Degree)
博士（学術）

(Date of Degree)
1985-03-31

(Date of Publication)
2014-03-03

(Resource Type)
doctoral thesis

(Report Number)
甲0542

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1000542

氏名・（本籍）　高谷富也（たかたにとみや）　（兵庫県）

学位の種類　学術博士

学位記番号　学博い第63号

学位授与の要件　学位規則第5条第1項該当

学位授与の日付　昭和60年3月31日

学位論文題目　**半無限弾性体内部の定常加振問題に関する基礎的研究**

審査委員　主査　教授　桜井春輔
　　　　　　　　教授　水畑耕治　　教授　小川枝郎

論文内容の要旨

根入れを有する構造物や地中構造物が地震などの外乱を受ける場合，その応答性状は少なからず周辺地盤の影響を受けるため，これらの構造物の動的解析に際しては，構造物を取り囲む地盤を含めて，構造物—地盤系の総合的な動特性，いわゆる動的相互作用効果を評価しなければならない。このためには，地盤内部の加振力による波動伝播特性を把握する必要がある。地盤内部の挙動を知るためには，地中に生じる変位・応力を求めなければならない。しかし，それらの誘導は，相当の数学的知識を必要とするため，地盤内部の加振力による変位・応力解を求めた研究は少なく，またこれら従来の研究における変位・応力解の誘導方法は，冬層地盤への拡張が難しいのが現状である。

本論文は，この問題に関する一つの解法として，まず数理的な取り扱いが容易なマトリックス法による変位・応力の解析方法を提案した。次に，半無限弾性体の内部加振問題を，加振位置に仮想の境界をもつ同じ力学定数からなる二層弾性体の問題と考え，本論文で提案した変位・応力解を利用して，半無限弾性体内部の定常加振力による解が容易に誘導できることを示し，弾性体内部の変位挙動および応力分布を明らかにした。また，地盤内部における動的地盤ばね係数に関する研究として，円形および矩形面上に分布する各種分布形状加振力による変位解を誘導し基礎的な検討を行った。ところで，地盤内部の点加振力による変位・応力解は，近年，有限要素法と並んで注目を集めている境界要素法によって構造物—地盤系の動的相互作用問題を解析する場合，その基本解として重要である。このため，境界要素法における基本解の研究として，全無限弾性体と半無限弾性体に対する解の検討も行った。

本論文は6章から構成されており，以下に各章ごとの要旨を述べる。

第1章緒論では，本論文の研究の範囲を明確にするため，弾性波動理論による地盤内部の波動伝播問題および構造物—地盤系の動的相互作用問題に関する従来の研究について概説し，それらの研究と本論文との関連性および特徴を明らかにした。さらに，本論文の目的および内容について述べた。

第2章では，円筒座標系および三次元直角座標系に対して，波動の上昇，下降波成分を含む変位・応力の一般解を表わすベクトル・マトリックス表現を求めた。これらの一般解は，点加振問題においては荷重項をFourier–Bessel 変換するために，また地表面と平行な矩形面上の等分布加振問題においては荷重項を二重 Fourier 変換するために必要となる。次いで，これらの一般解を用いて，点加振問題に対しては円筒座標系における変位・応力解を，また矩形面上の等分布加振問題に対しては直角座標系における変位・応力解を求めた。とくに，本論文では，通常の構造解析における伝達マトリックス法を利用して，多層弾性体内部の定常加振力による変位・応力解をマトリックス演算によって容易に求め得ることを示した。この方法は，マトリックス積による演算のみによって多層弾性体に対する変位・応力解を容易に求め得る利点を有している。一方，多層弾性体に対する分散関数として二層弾性体を例にとって波動の分散性を調べ，変位・応力解に含まれる波数積分の取り扱いについて若干の考察を行った。

第3章では，第2章で求めた変位・応力解を利用すれば，半無限弾性体内部の定常加振力による変位・応力解が容易に誘導できることを示した。すなわち，半無限弾性体内部の加振位置に仮想の境界をもつ同じ力学定数の二層弾性体を考え，層境界で変位の連続と外力による応力成分のジャンプ条件を考慮すれば変位・応力解が得られることを示した。ところで，半無限弾性体の内部加振問題に対して，この定式によって得られたマトリックス積表示の変位・応力解は，単なる代数演算のみによってマトリックス積の分解が可能である。本論文では，点加振問題に対する変位・応力解および矩形面上の等分布加振問題に対する変位解のマトリックス積を分解して解を表わした。これらの解は特異点を有する無限波数積分表示となっているため，この積分に対する数値積分法が問題となる。この点について，点加振問題に対しては直接数値積分法を用いたが，その際積分値の収束性を早める工夫を行った。また，等分布加振問題における変位解については，解は二重無限積分の形となるため，若干の数理的変形を施した後，分岐線積分路を伴う複素周回積分の適用を計った。この複素周回積分に際しては，虚軸に沿う特異点を有しない無限積分が残るが，新たに積分の収束性を考慮した方法を提案して無限積分の評価を行った。これらの変位解に対する数値計算結果より，変位の虚部，すなわち減衰は点加振および等分布加振の加振状態には無関係に等しくなることが分かった。

第4章では，全無限弾性体と半無限弾性体に対して次に述べる二つの問題を計算し，自由表面の存在が変位・応力に及ぼす影響を検討した。まず，全無限弾性体に対する素解に鏡像を重ねただけの解，すなわち応力境界条件の一部を無視した近似半無限弾性体に対する解が，どの程度まで半無限弾性体に対する変位・応力解を近似することができるかについて調べた。これより，変位解については地表面からの深さに関係なく半無限解と全無限解には大差はないが，応力解については表面に近い所では半無限解と全無限解には明らかに差異がみられた。すなわち，全無限解を求めるに当って，仮想表面

上での応力に関する境界条件が満足されていないことによる補正項の寄与は，変位解に対しては小さいが応力解に対しては大きいことが明らかとなった。次に，全無限弾性体と半無限弾性体中の円形と矩形（円形と同じ面積を有する正方形）面上に分布する各種分布形状の加振力による変位解について，自由表面からの加振源深さが変化する場合の載荷面中央の変位挙動を調べた。この結果，等分布加振の場合には，円形載荷と正方形載荷による載荷面中央変位の実部と虚部は，載荷深さに関係なくほぼ一致した。また，伝播する波の波長が載荷深さに比らべて十分小さい場合には，半無限弾性体内部の分布加振による載荷面中央変位は全無限弾性体における載荷面中央変位に一致するものと考えられる。

第5章では，半無限弾性体内部の加振力による変位解の応用例を示した。まず，弾性地盤に埋設された支圧式アースアンカーが周期的な引き揚げ力を受ける問題を想定して，アンカーを半無限弾性体に埋設された剛性をもたない完全たわみ性円盤，および剛円盤とした二つの場合について，アンカーの変位挙動と埋設深さの関係を調べた。この結果，アンカーの埋設深さの増加とともにアンカーの変位量は減少し，一種の『限界深さ』が存在することが明らかになった。さらに，アンカーの埋設深さおよび加振振動数に関係なく，たわみ性アンカーの平均変位量（アンカーの中心と端部での変位の平均値）は，剛性アンカーの変位量とほぼ一致することが明らかとなった。次に，地中の外乱（たとえば，地中発破など）による地盤表面の変位挙動に関する基礎資料を得るため，点加振力と球状加振力による表面の変位挙動の比較を行った。これより，球状加振力と点加振力による変位挙動の差異は，伝播する波の波長に対して加振源直上からの水平距離が小さくなるとともに顕著となり，加振源深さに関係するものではなく，波の波長に依存していることが明らかとなった。最後に，構造物への波動入射問題に対する研究の一環として，地盤内部の点加振力による地盤上の板状構造物の動的応答と周辺地盤表面の変位挙動を調べた。この結果，加振源近傍上の地盤表面の変位振幅は，板状構造物の変位振幅よりも大きいが，加振源より離れるとともに，両者は同程度の振幅で振動することが明らかとなった。このように，本論文では半無限弾性体内部の加振力による変位解が多くの動的問題の解析に適用できることを示した。また，最近のように構造物が重要かつ巨大化する傾向にあるとき，構造物の大きさと比較して地盤の多層性を無視することは妥当ではない。したがって，今後，層状弾性体に対する変位・応力解も重要となる。その際，本論文で提案した伝達マトリックス法による半無限多層弾性体に対する変位・応力解の定式が有用であろう。

最後に第6章では，本論文の要旨と結論を述べた。

論文審査の結果の要旨

深い基礎を有する構造物や，地中の構造物の，地震などによる動的応答性状は，周辺地盤の力学特性によって影響を受けるため，これらの構造物の設計に際しては，構造物周辺の地盤を含めた構造物一地盤系として解析しなければならない。このためには，地盤内部の加振力による波動の伝播特性を把握する必要がある。しかし，この場合の変位及び応力解の誘導に際しては一般に，複雑な数学的手法が要求される。

本論文では，このような状況を考慮して，三次元等質等方半無限弾性体内部における定常加振力による変位及び応力解を，マトリックス演算のみによって容易に求める方法を提案した。そして，得られた変位，応力解によって半無限弾性体内部の波動の伝播特性を解明し，さらに，構造物―地盤系の動的相互作用問題への適用について論じた。

得られた成果を要約すると次のとおりである。

（1）本論文で提案した解析手法は，伝達マトリックス法に基づくものであり，半無限弾性体を層状体に分割して解析するため，多層地盤への拡張が容易である。

（2）提案した解析法によって，等質等方半無限弾性体内部の点加振力，及び等分布加振力による変位，応力解を誘導し，半無限弾性体の波動伝播特性に対して多くの知見を得た。

（3）これらの解析には，特異点を有する無限波数積分が含まれるが，点加振問題に対しては直接数値積分法を用い，積分の収束を早めるための工夫を行った。一方，等分布加振問題に対しては，分岐線積分路を伴う複素周回積分によって解析することを提案した。

（4）半無限弾性体の解析において，全無限弾性体に対する素解に，鏡像を重ねた解が，どの程度まで半無限弾性体に対する変位及び応力解を近似することができるかについて調べた。その結果，変位解については，地表面からの深さに関係なく，半無限解と全無限解には大差はないが，応力解については，表面に近い所では，半無限解と全無限解には，明らかに差異のあることが分った。

（5）得られた変位及び応力解の，地盤工学への適用例として，まず，弾性地盤に埋設された支圧式アースアンカーが，定常加振力を受ける場合の変位挙動の解析を行った。その結果，アンカーの埋設深さの増加とともに，アンカーの変位量は減少し，一種の“限界深さ”が存在することが明らかとなった。次に，地中の外乱による地盤表面の変位挙動に関する基礎資料を得るため，点加振力と球状加振力による表面の変位挙動の比較を行った。これより球状加振力と点加振力による変位挙動の差異は，伝播する波の波長に対する加振源直上からの水平距離の比が小さくなるとともに顕著となり，加振源深さに関係するものではなく，波の波長に依存していることが明らかとなった。最後に，波動入射問題に対する研究の一環として，地盤内部の点加振力による，地盤上の板状構造物の応答と周辺地盤表面の変位挙動を調べた。この結果，加振源近傍上の地盤表面の変位振幅は，板状構造物の変位振幅よりも大きいが，加振源より離れるとともに，両者は同程度の振幅で振動することが明らかとなった。

以上述べたように，本論文は，半無限弾性体内部の定常加振問題に関する独創的研究であると認めることができ，その解析手法の開発，ならびに解析結果において多くの知見を得たものとして価値ある集積であると認める。なお，本研究のテーマは応用力学の分野に属するものであるが，適用例を通して得られた成果は，土木工学，特に地盤工学の分野に寄与するところ大である。

よって，論文提出者高谷富也は学術博士の学位を得る資格があると認める。