

報告番号 ^{*} ^乙 甲 第 3592 号

主論文の要旨

題名

地盤と構造物との動的相互作用における
速度比例型減衰の影響に関する研究

氏名 福和 伸夫

報告番号

※^乙甲第

号

氏名

福和 伸夫

(1) 研究の目的

近年、計算機の進歩と解析手法の発展によりある程度の複雑な自然現象の解析が可能になった。しかしながら、構造物と地盤との相互作用の問題を、現実の構造物-地盤系が内在している複雑さを考慮して解析することは、解析時間や解析容量などの制約により未だ困難であるといつてよい。有限要素法の場合には解析自由度が、境界要素法の場合には複雑な系の表現が制約となっており、これらを組み合わせたハイブリッド法によっても三次元の系を忠実にモデル化することは困難である。したがって、地盤の複雑さを考慮する場合には擬似三次元有限要素プログラムFLUSHが多用されているのが現状である。この考え方は格子型モデルにも取り入れられている。擬似三次元解析の多用により、いわゆる擬似三次元効果の適用性についての検討の重要性が認識されるようになったが、残念ながら検討結果は見られない。この一因は、擬似三次元効果が離散解法にのみ導入されているために、付加因子が多く解析的な検討が不可能であることによる。このような観点に立って、本論では、支配方程式に速度比例型減衰として擬似三次元効果を解析的に導入して擬似三次元場のグリーン関数を新たに誘導し、境界積分方程式法に立脚した境界要素解析を行うことにより擬似三次元効果を解析的に検討する。検討はインピーダンス、基礎入力動および構造物応答を、二次元、三次元解析結果と比較することにより行う。したがって、構造物応答のみならず、慣性の相互作用と入力との相互作用の各々に対して擬似三次元効果を検討することができる。これにより、従来は不明確であった擬似三次元解析の適用性、適用上の留意点を明確にする。

本論文のもう一つの目的は、簡易な相互作用解析法を導出することである。現在の一般建築物の耐震設計に相互作用効果を取り入れられていない原因の一つは、一般設計技術者にとって相互作用解析が余りにも煩雑であり、簡易な設計式がないことにあると考えられる。インピーダンスの近似式に関しては数多くの提案がされているが、その多くは既往の解析解に適合するように定められた半経験的な近似式であり、厳密解が存在しない問題には適用が難しく、地表基礎に限ったものが多い。また、他の重要な相互作用因子である基礎入力動に関しての近似解法もまた見当たらない。一方、上述の擬似三次元効果の検討から、速度比例型減衰が半無限地盤かつ単独基礎の場合に有効であることが明

主論文の要旨 2/4

報告番号	※ ^上 第 号	氏名	福和 伸夫
<p>らかとなった。そこで、この速度比例型減衰を一次元土柱に適用した擬似三次元土柱を考え、埋込み基礎の周囲に擬似三次元土柱を配することにより、非常に簡易にインピーダンスを求めることのできる方法を提案する。また、サブストラクチャー法の概念を適用することにより、基礎入力動を概算する方法についても提示する。この近似解法は従来の考え方とは全く異なるものであり、経験的な洞察を必要としないこと、基礎入力動を含めて計算できることに特徴がある。</p>			
<p>(2) 研究の概要</p>			
<p>以下に本論文の概要を示す。まず、第1章では、相互作用問題の現状について概説した後に、既往の相互作用研究のレビューを行い、本論文の目的と位置づけを明確にしている。</p>			
<p>第2章では、本論文の前半で行う擬似三次元境界要素解析に必要な解析理論を示している。その内容は、支配方程式に速度比例型減衰を導入することによる擬似三次元解析の支配方程式の導出、境界要素法の定式化、境界要素解析に必要なグリーン関数と入射波場の誘導である。境界要素法の定式化に際しては、擬似三次元境界要素法特有の注意点を明確にするとともに、今後の研究の展開を考慮して、有限要素法とのハイブリッド法や時刻歴非線形問題への適用方法について触れ、境界要素法の定式化に基づくサブストラクチャー法の整理についても言及している。また、擬似三次元場の支配方程式に基づいて、擬似三次元グリーン関数を新たに誘導している。</p>			
<p>第3章では、第2章で定式化された解析理論の検証を行う。まず、既往の二次元インピーダンスの解析解と比較を行い、つぎに、有限要素解析結果とインピーダンスおよび基礎入力動を比較している。さらに、二次元円形谷の既往の解析解と比較し、入射波解析の検証を行っている。また、このような解析的な検証のほかに、半楕円形の沖積谷で得られた地震観測結果を有限要素-境界要素結合解法でシミュレーションすることにより、解析手法の実証性を検討している。</p>			
<p>第4章は、本論文の前半の主要部分であり、擬似三次元解析の有効性をパラメータスタディにより検討している。検討は擬似三次元場のインピーダンス、基礎入力動および剛基礎の応答を二次元および三次元解析結果と比較すること</p>			

主論文の要旨 3/4

報告番号

※⁷第

号

氏名

福和 伸夫

により行い、動的相互作用問題の主要な影響因子である埋込み効果、基礎間連成効果、成層効果に対する速度比例型減衰の影響を調べている。これから、以下のことが示されている。

- (1) 速度比例型減衰の導入によって、インピーダンス実部が増加し、半無限地盤の単独基礎の振動性状は、二次元場の性状から三次元場へと大きく改善される。しかし、三次元解に比較して、低振動数域で逸散減衰が大きめになり、回転インピーダンスに顕著である。したがって、回転動が卓越する問題では応答値を過小評価する。また、基礎の平面形状については、奥行方向に長いほど擬似三次元解と三次元解はよい対応を示すが、短い場合には擬似三次元解の問題点が顕著となる。
- (2) 地表面基礎の場合には、入力損失効果に及ぼす速度比例型粘性減衰の影響は殆どないが、埋込みが存在すると、二次元と三次元の基礎入力動に差異が現れ、速度比例型減衰は基礎入力動を三次元場のそれに近づける。
- (3) 隣接基礎が存在する場合や基盤が存在する場合には、擬似三次元解は三次元解の振動性状を平均的に模擬することはできるが、これらに起因する現象(共振現象など)が抑制される傾向がある。

第5章では、擬似三次元解析結果の特徴を説明している。まず、擬似三次元場で基盤や隣接構造物の影響が過小評価されることを、波動逸散性状を検討することによって明確にしている。地表に有限長線加振が作用するときの地盤内の波動伝播エネルギーを求め、二次元および三次元結果と比較することにより、擬似三次元場では加振点から離れた位置の影響が小さく評価されることを示している。つぎに、速度比例型減衰の存在がインピーダンス実部を増加させることについて、簡易なモデルにより数式的に説明している。一次元土柱に速度比例型減衰を導入することにより、実部と虚部に分離された陽な形のインピーダンスを示し、これから、速度比例型減衰が実部を増加させること、低振動数域で虚部を増加させることを解析的に説明している。

以上の結果、擬似三次元解は半無限地盤かつ単独基礎の場合には減衰がやや大きくなるものの三次元解の簡略解として非常に有用であることが示される。しかし、隣接構造物や、地層構造の不規則性の影響を把握することを目的として、FLUSHなどの擬似三次元解析プログラムを用いる場合には、これらの影響

主論文の要旨 4/4

報告番号

※第

号

氏名

福和 伸夫

を過小評価する恐れがあるので、擬似三次元解の与える特性を十分に理解して結果を吟味する必要があることが指摘されている。

第6章では、擬似三次元土柱による相互作用解析の近似解法を示す。第4章における擬似三次元効果の検討の結果、半無限地盤に埋込まれた単独基礎の場合には擬似三次元解析が有効であることが確認された。そこで、この効果を一次元土柱に適用し、一次元釣合方程式に速度比例型減衰を導入する。これを解くことにより複素インピーダンスを陽な形で求め、ばね定数と粘性減衰係数の形に定数化する。このようにして得られた擬似三次元土柱の簡易ばねを、埋込み基礎の底面および側面部に取り付けることにより、簡易的にインピーダンスを求める。さらに、動的サブストラクチャー法の特徴を利用して、ばねと三角関数で表される半無限地盤の自由地盤応答から、基礎入力動を簡単に求める方法を示す。本近似解法の有効性と適用範囲は、三次元境界要素法による結果と比較することにより示されている。即ち、

- (1) ばね定数と減衰係数の形で示された埋込み基礎のインピーダンスは、耐震解析上重要となる水平成分で境界要素解と非常によく対応を示した。しかし、上下成分では高振動数域で実部を大きめに、回転およびねじれ成分では低振動数域で減衰を大きめに評価する傾向があり、埋込み時の質量効果による高振動数域での実部減少を表すことができない。
- (2) 基礎入力動は、境界要素解とよく対応を示した。しかし、埋込みが深く振動数が高い場合には、境界要素解との差異が顕著になる傾向がある。また、本解析法を用いて構造物の応答を求めた結果も境界要素解とよく対応しており、十分な近似値を与えていることが確かめられた。
- (3) 本簡易解析手法は、埋込み深さが基礎半幅程度以下で、構造物-地盤系の固有振動数 f_N が $f_N < V_S/4B$ かつ $f_N < V_S/4E$ を満足する場合には、実用上十分な精度であることが明らかとなった。とくに、水平応答が卓越する問題に有効である。本解析法は、その数値的扱いの簡便さにより、構造物-地盤動的相互作用解析における近似解法の一つとして有効な解析法であると考えられる。また、インピーダンスをばね定数と減衰係数の形で評価しているため、時刻歴非線形問題にも容易に適用することができる。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果を要約して示している。