

制御回転震源に関する基礎的研究

(株)大林組 (元東大大学院)	正会員	前島大吾
東京大学地震研究所	正会員	東原紘道
東京大学大学院	学生会員	河 東 鎬

はじめに

弾性波による地盤の内部構造探査にはパッシブとアクティブがある。パッシブとして自然地震を用いる方法があるが震源の放射構造が不明である。アクティブには人工震源があり、爆破震源の様な破壊型と、加振機の様な非破壊型に分類される。本研究では加振機として制御回転震源を使い、その周波数を制御することにより探査の精度を上げることを考えた。

バックグラウンドと目的

構造探査に最終的に必要なのは空間分解能だが時間分解能から求る。時間領域上の情報は周波数領域上の情報をフーリエ変換することにより求まる。本研究では周波数領域上での精度を上げることを目的とする。その手法としてノイズに対するシグナルの値(SN値)を高める方法と周波数分解能を高める方法を考えた。両手法の精度を上げる為には精密な周波数制御が必要となる。本研究で開発する制御回転震源はこの機能が不可欠となる。制御回転震源はモーターによって単振動を発生させる。しかし長期的にみれば別の時刻での波を重ねあわせたとき位相ずれが生じる。これはモーターの周波数の揺らぎによるものでこれを制御する。

SN値を高めるには精密な周波数制御が必要である。送信側では精密に周波数制御可能な制御回転震源から精度のよい調和波動を地盤に放射する。放射波は微振動であるが受信側では最近の地震計は24ビットと広いダイナミックレンジを持ち充分捕らえることができる。また調和波動の精度がいいので長時間のスタッキング(統計的重ね合せ)によりノ

イズを除去できる。例えば自然界の一般的なノイズレベルの1/10程度の微振動でも10~50Hzの範囲では十日間のスタッキングにより10の6乗倍の応答がとれる。即ち制御回転震源からの放射波が微小でも充分復元可能である。

応答の精度を上げるために周波数分解能を高める。本研究ではフーリエ成分を多数の周波数で観測する。制御回転震源の周波数の揺らぎが小さくなれば周波数間隔を狭くできる。精密な周波数制御により従来にない高分解能が得られる。揺らぎの1ミリHzの制御で走時曲線にして1ミリ秒の精度を出すことができる。

制御回転震源の種類

制御回転震源に利用できるものに以下の2つのモードがある。カップリングモードは剛体円盤に水平動を与えたものである。表面波が干渉して近傍での精度は落ちるが、パワーが大きい為遠方で有利である。ねじりモードは剛体円盤にねじり加振を与えるものである。パワーは小さいのであるが、せん断波のみの放射なので表面波による干渉がなく近傍場で有利である。本研究では大型地下構造物等の為の探査を対象としているので、ねじりモードについて試作と理論数値計算を行った。

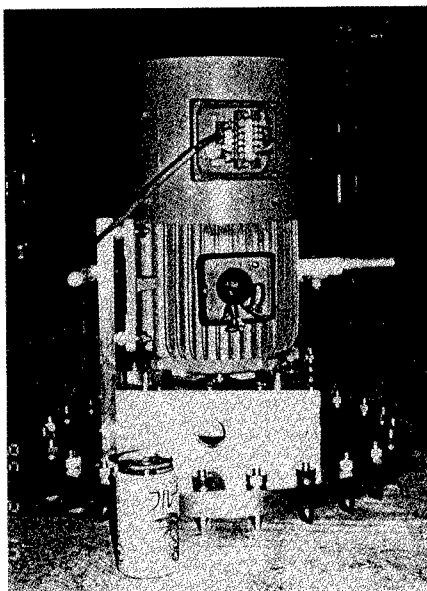
理論数値計算

この基礎理論にコンプライアンス理論がある。これは元来構造物と地盤の相互作用を解くものであるが波動入射問題に応用できる。遠方の観測点では制御回転震源は点震源とみなせるが、接触面や近傍場ではコンプライアンス理論を解く必要がある。また将来制御回転震源と観測点の効

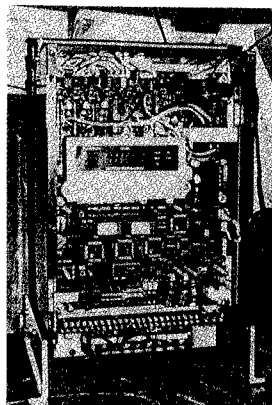
率的なアレイ配置をするのに数値計算は不可欠である。本研究ではコンプライアンス理論を応用し数値計算プログラムを開発した。この計算手法は前回（49回年講）で述べたので結果のみ後で示す。

試作モデルの開発

ねじれモードに関して制御回転震源を試作した。加振機としてベクトル制御可能なインバータモータを使用した。これはモータ本体と制御指令を与えるインバータという機器からなる。（富士電機：モーターMV K6115 Aベクトル制御インバータFRN003VG3-2）最大出力3.7kW最大トルク23.5Nm速度制御範囲0.1～60Hz精度6mHz～120mHz。円板には直径60cmのアルミニウムを使用した。モータと円板を一体化し5 kgの重りを回転させたときの反力を地盤に放射する。



制御回転震源 試作モデル



制御インバータ

フィジビリティ スタディ

この試作モデルの性能を見るために軟弱地盤の浅層近傍場でのフィジビリティスタディを行った。パラメータ b は波数で $b0.1$ が8Hzに相当する。上図は円板半径方向の距離における変異振幅（m）、下図は位相遅れ（rad）を示している。微振動であるが高感度地震計を用いればスタッキングなしで観測可能である。

