

地震と私たち(6)

増 田 徹

4-3. 地震計の特性

以上の実験の結果を表すと次頁の図になります。この図は、地震計の周波数特性と呼ばれます。いくつかの異なる減衰定数について特性が描かれています。図の横軸は、大地のゆれの周波数を地震計の固有周波数で割った値です。地震計の固有周波数とは、地震計として利用されている振り子の固有周波数のことです。横軸の1は、大地のゆれの周波数が地震計の固有周波数と同じということ、0.1あるいは10は、大地のゆれの周波数が地震計の固有周波数の10分の1あるいは10倍ということです。図の縦軸は地震計の出力変位を、地震計への入力である大地のゆれの変位で割った値です。両軸とも対数で目盛られています。

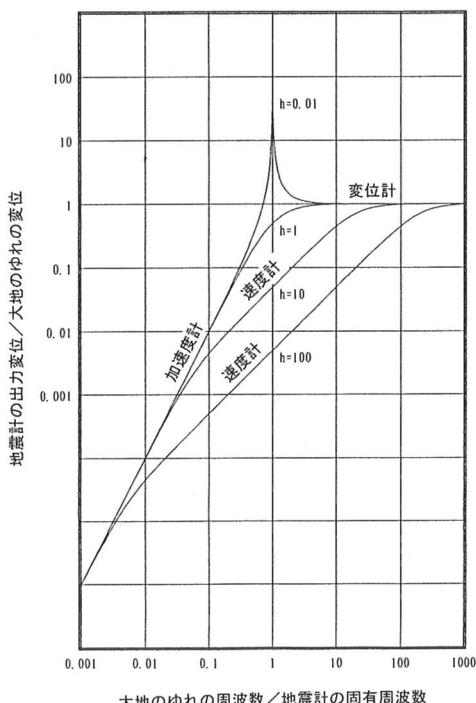
図に明らかなように、地震計の特性は固有周波数を境に大きく変わります。固有周波数より充分高い周波数に対してはグラフは平坦です。思考実験でも明らかだったように、地震計の出力変位は大地の変位に比例していますから、地震計は変位計として働いています。

減衰定数はあまり大きくない場合に、固有周波数より充分低い周波数に対しては、グラフは傾き2の右上がりの直線になっています。これは地震計の出力変位と大地の変位との比が、大地のゆれの周波数の2乗に比例していることを表しています。周波数を1回掛けることは時間で1回微分することと同じです。地震計の出力変位は、大地のゆれの変位を2回微分したもの、すなわち加速度に比例しています。このとき、地震計は加速度計として働いています。

減衰定数が臨界減衰定数よりも充分大きいとき、固有周波数を中心とする一定の周波数範囲では、グラフは傾き1の右上がりの直線となっています。今度は傾き1ですから、地震計の出力変位は大地のゆれの変位の1回微分、すなわち速度に比例しています。地震計は速度計となっていることがわかります。

減衰定数が非常に小さい場合には、地震計の出力は固有周波数の付近で非常に大きく、固有周波数から離れた周波数では小さくなります。このような特性を持った地震計は、大地のゆれのうち、特定の周波数のものだけを選択的に取り出すことができます。

このように、地震計の固有周波数及び減衰定数は、地震計の特性を決定する重要な量です。これら2つの値を適宜選べば、測りたい周波数範囲で、大地のゆれの変位、速度、加速度のいずれでも測ることができます。目的に適した地震計で観測ができます。



4-4. いろいろな地震計

今まで見てきたように、振り子の原理をうまく利用することによって、基準点の見つからない大地のゆれを測る地震計をつくる原理がわかりました。しかし、実際に地震のゆれを測って、なんらかのかたちで目に見えるように、あるいは数値として取り出すには、ここでもう1工夫必要です。

地震のゆれは恐怖感を与えるに充分なものですが、一体どれくらいゆれてるものでしょうか。日本では、ゆれの大きさを表すのに震度をもちいることが一般的になっています。

震度Ⅶのゆれは、立っていられないくらい激しいものです。ゆれを表現する量の一つである加速度に直すと、1,000ガルにも及ぶものです。ガルは加速度の単位の一つで cm/s^2 です。このゆれは速度にするとおよそ $100\text{cm}/\text{s}$ 、変位にして 10cm 程度となります。結構ゆれます。

一方、わたしたちが感じる一番小さなゆれは震度Ⅰですが、これは加速度では1ガル程度、速度では $0.02\text{cm}/\text{s}$ 以下、変位に直せば 0.001cm 以下、すなわちたったの 10ミクロン 程度です。わたしたちの感じない小さな地震、無感地震もありますし、また、地震がないときでも、わずかではありますが大地はゆれています。地震ではない大地のゆれは常時微動とか雑微動とか呼ばれます、街の真ん中では0.1ガル、 $0.001\text{cm}/\text{s}$ 、 0.1ミクロン 、静かな山の中ではその100分の1程度となります。非常にわずかなものです。

地震計の原理的なことはわかったわけですが、実際に大地のゆれを測ろうとすると、対象とするゆれの大きさによっては、製作技術的な問題にぶつかってしまいます。振り子によって検知される大地のゆれを如何にとりだすかという技術的問題は、地震計発展史の大きな部分を占めています。

電子技術が今のように発達する以前には、地震による振り子の動きを、重りに腕をつけてその先端に取り付けたインクペンで、支点と一体になった記録紙に直接書く方法が取られていました。支点と重りの距離に対して腕の長さを大きくすれば、てこの原理で地震のゆれは拡大されますから、いくぶん見やすくなります。しかし、腕の長さには限界があり、震度Ⅰのゆれや常時微動を測ることは困難です。このような地震計は機械式地震計と呼ばれます。

もう少し工夫したものに、光を利用する地震計があります。振り子の支点の近くに鏡をつけ、これに光を当てて鏡から反射してくる光で印画紙に焼きつけるのです。印画紙と鏡との光学距離を光源から鏡までの距離より長くすれば、これもてこの原理でゆれを拡大できます。1,000倍以上にもすることができます。これは光学式地震計と呼ばれています。

これらの二つはいずれも、振り子のゆれをそのまま取り出しています。ところが、もうとうまい工夫の地震計が発明されました。振り子を利用するところは変わらないのですが、振り子のゆれの取り出し方に革命的な工夫がされています。振り子の重りにコイルを巻き、

そのコイルを永久磁石による磁場の中におきます。たったこれだけのことですが、地震のゆれの測定が、発展し続ける電子技術の恩恵から無縁でなくなり、近代的計測器として大いに発展する条件をついたのです。電磁気学の法則を利用した電磁式地震計の誕生です。

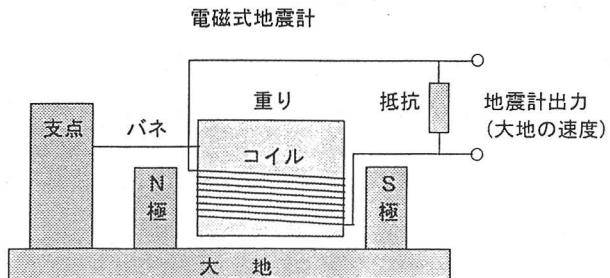
電磁式地震計では、大地がゆれて重りが動くと、重りに巻かれたコイルが永久磁石による磁場の中を動きます。コイルは電気をとおす導体です。導体が磁場の中を動くと、その速度に比例した起電力が生じます。これは、電磁気学でファラデーの法則として知られているものです。コイルの中に生じた起電力を電圧計で見れば、重りがどのくらいの速度でゆれたかがわかる仕組みになっています。機械式地震計や光学式地震計では重りの変位が測られましたが、電磁式地震計では重りの速度が測られます。固有周波数より大きな周波数では速度計となります。変位計として機能する機械式地震計と大きく異なる点です。

電磁式地震計の長所は、重りの動きを電気的に取り出せるので、微小なゆれを拡大できることです。これなら、無感地震でも、常時微動でも測ることができます。高感度地震計として用いられています。また、地震記録を紙に描く記録ではなく、電気的信号として記録できる長所もあります。電子計算機による解析も容易です。ところで、電磁式地震計の長所はこれだけに留まりません。

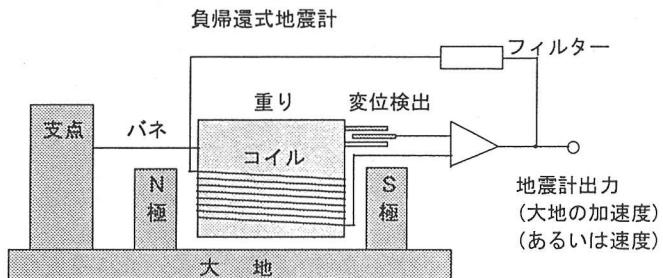
地震計の特性は、固有周波数と減衰定数で決まることはすでに見てきたところです。機械式地震計や光学式地震計の場合、減衰定数を好みの値に設定することは、大変に難しかったのです。特に、大きな値にするためには、重りを油に漬けたり大変でした。地震計にとって減衰定数が大事なのは、減衰定数が小さいと、地震のとき大地がゆれるとそのときのゆれによる振動がいつまでも続き、次のゆれと区別がつかなくなってしまうからです。

電磁式地震計は、減衰定数の設定が簡単にできるのです。重りについたコイルが磁場の中を動くとコイルの中に起電力が生じるわけですが、コイルの両端を何Ωかの「抵抗」でつなぐとコイルに電流が流れます。ここに流れる電流も磁場の中にあります。磁場の中を電流が流れると、ローレンツ力と呼ばれる力が働きます。この力は、重りの運動を妨げる方向に働くので、重りを動きにくくする抵抗となります。コイルの中に生じる起電力は重りの速度に比例していましたから、重りの運動を妨げる力も重りの速度に比例します。減衰定数は、速度に比例する抵抗力に関係していたのですから、コイルの両端につなぐ抵抗

の値を調節すれば、好みの減衰定数に設定できます。



運動と電磁気との相互作用をうまく利用した地震計の誕生は、また違った考え方の地震計を産みました。機械式地震計、光学式地震計、電磁式地震計では振り子の重りは大地とともにゆれるに任せっていました。大地が大きくゆれると重りも大きくゆれてしまい、小さなゆれしか測れない、線形性が悪くなる、バネが折れるなど、欠点となっていました。重りのゆれを制限して、大地が大きくゆれても重りのゆれは小さいままであるように工夫した負帰還式地震計が発明されました。



重りにコイルを巻くのは電磁式地震計と同じです。電磁式地震計では、コイルは重りの速度を検出する役目と、減衰定数を決める役目をもっていました。負帰還式地震計ではコイルの変位を検出する検出器をもう1つもっています。大地がゆれ地震計の重りがゆれると、その変位はコイルとは別の検出器で電気信号として検出されます。ここで取り出された重りの変位に比例する電気信号から、変位に比例する電流と速度に比例する電流を、重りが動きにくくなるようにコイルに積極的に流します。

変位に比例する電流が流れると変位に比例した抵抗力が加わりますから、見かけ上バネが強くなったようになって重りはゆれにくくなり、また、振り子の固有周波数が大きくな

ります。速度に比例した電流が流れれば、減衰定数が大きくなります。どちらをどのくらい大きく流すかで地震計の特性が決まります。変位に比例する電流を大きくすれば、もともとの値より固有周波数が大きくなり、それより小さな周波数で加速度計になります。速度に比例する電流を大きく流せば、固有周波数を中心とする周波数範囲で速度計となります。

負帰還式地震計の長所は、何といっても、大きなゆれを何の問題もなく測れることです。また、大地が大きくゆれても重りはそれほどゆれませんから、非常に安定した計測ができます。負帰還式地震計は、主に強震計として用いられています。

以上見てきたように、地震計にはいろいろな種類があります。また、いろいろな呼び名で呼ばれます。地震計の分類あるいは呼び名は、次のようにまとめることができます。

- (a) 地震計の性質による分類
 - (1) 機械式地震計
 - (2) 光学式地震計
 - (3) 電磁式地震計（動コイル型地震計）
 - (4) 負帰還式地震計（サーボ型地震計）
- (b) 地震動の種類による分類
 - (1) 変位計
 - (2) 速度計
 - (3) 加速度計
- (c) 地震動の周期による分類
 - (1) 長周期地震計
- (d) 中周期地震計
 - (1) 短周期地震計
 - (2) 広帯域地震計
 - (3) 狹帯域地震計
- (e) 設備条件による分類
 - (1) 地表設置型地震計
 - (2) 孔中設置型地震計

1つの地震計を呼ぶとき、これらの呼び名のいくつかをつなげて言うこともできます。例えば、地表設置型電磁式高感度短周期速度計、孔中設置型負帰還式加速度計などです。呼び名はそれとして、地震計を選ぶときは、ゆれの変位、速度、加速度のうち何を測るものか、測れるゆれの大きさはどの範囲か、周波数範囲はどうなっているのかを充分検討する必要があります。