振動時間波形の代表値推定に関する基礎的研究

環境防災研究室　前田達哉

指導教官　宮木康幸

1. はじめに

土木の分野では，地震や橋梁上を自動車・鉄道が通過する際など様々な場面で振動現象に遭遇する．このような場面での振動は，周波数成分が多く，その成分の大きさも様々で非常に複雑な振動現象を呈する．このような場合，振動は FFT 分析などが行われて，その卓越周波数成分とその大きさなどによって振動現象の特徴が捉えられるのが一般的である．

また，複雑な振動現象を実験的または数値解析的に捉える場合には，実在の振動を直接入力として与えるような実験や解析は大掛かりで費用などがかさむため，振幅が既知で単一な周波数の単純な三角関数が入力として与えられ，振幅や周波数を様々に変えることにより振動現象を捉えようとすることが多い．

このように単純な三角関数を入力として与えた場合でも，実験では装置の限界や実験モデルの単純化の限界などから，その応答値は入力の周波数成分だけが現れるとは限らないし，ピーク値が一定となるとは限らない．数値解析の場合でも，振動現象を初期状態から時間的に追跡しようとすると，過渡振動を求めることになり，周波数は一定でも振幅が時間によって変化するものとなる．このような場合には，FFT 分析までは必要としないが，振動のピーク値と周波数成分の変化を同時に捉えることができれば，振動の時間波形の特徴を表すことになり有用である．

2. 研究の背景

騒音の伝搬を抑制するためによく用いられる防音壁の性能について，実験的または数値解析的に検討しようとする場合，単一周波数の三角関数を入力音源とし，防音壁に関して音源と反対側に受音点を配置して伝搬してきた音を記録または推定することになる．このとき，音源からの音は，直接防音壁の頂点を経由して受音点に到達する音や，防音壁を設置した床で反射して到達する音や，有限の防音壁の場合には防音壁の外側を経由して到達する音など，様々な経路を通って受音点に到達するため，受音点に伝搬してきた音は，同じ周波数でも経路毎の到達時間の相違によって，音の干渉によって増幅されたり減衰されたりして，そのピーク値は一定にはならない．

このような音の時間波形の代表値を知るために，時間波形を EXCEL などによって一度図化し，手動によって代表値を求めてきた．しかし，データ数によっては，時間波形を常に EXCEL などによって図化できるとは限らないし，目視によって手動で代表値を求めるには個人差が現れることが考えられる．

3. 研究の目的

本研究では，FFT 分析までは必要としないような振動時間波形を対象として，振動時間波形のピーク値と周波数成分の変化を同時に捉えることができ，時間波形の代表値をパソコンとの対話形式で推定できるようなプログラムの開発を目的とする．

4. 代表値推定のための指標

振動における現象から得たデータを図化せず，どのような特徴を持つ波なのか判別するためは，波形の周期や振幅が安定している範囲を調べる必要がある．具体的な判断材料として平均値，最小値，最大値，分散，時間軸上の極値の変動，振幅軸上の極値の変動，実効値などを用いることが有効的である．これらの要素を用いることにより，数値が入力されてからデータ全体が安定した波(図-1)でデータ全体の範囲を用いて代表値を算出するのか，データの前半は安定していて後半は安定しているが前半より値が大きい(図-2)などの波の特徴を判別できる．また，図-3 のように安定しているデータ範囲が一部分のみでその他はなんらかの影響で乱れているデータでは，必要ならば何種類かの範囲に分けることができなければならない．

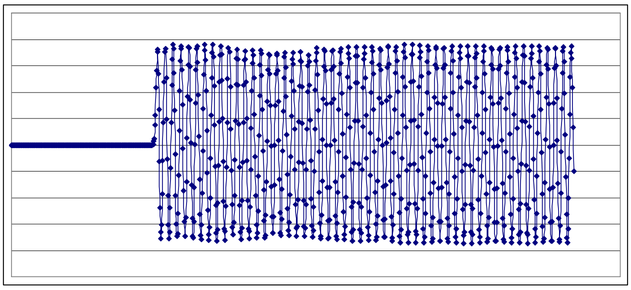

図-1　ある振動における現象(例 1)

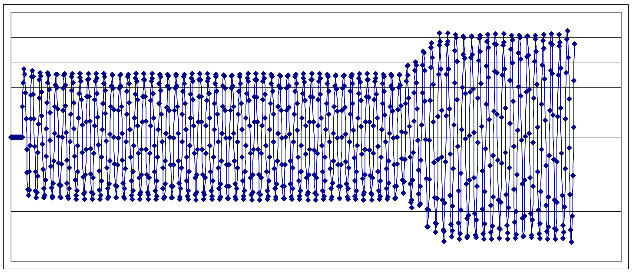

図-2　ある振動における現象(例 2)

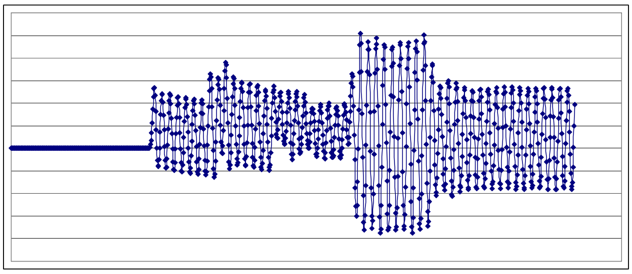

図-3　ある振動における現象(例 3)

平均値は，for 文を用いて各配列を定めた回数足し合わせて個数で割って求める．for 文とは，C 言語において範囲を入力し，その範囲の間で繰り返し処理を行う代表的な文である．データ全体で平均値をとった場合，分散と同じようにデータのばらつきを示す．

最大値は，平均値を求めるときと同様に for 文を用い，繰り返し行っていくなかで前の値が次の値よりも大きいと次の値に変換して最終的に残った値が最大値となる．逆に，最小値は，for 文を用い，繰り返し行っていくなかで前の値が次の値よりも小さいと次の値に変換して最終的に残った値が最小値となる．最大値，最小値を求めることによって，データをグラフ化したときの大まかな波形を推測できる．

データを数値化するとき，代表値として実効値が広く用いられる．実効値は，式(1)で与えられる．プログラム上では，for 文を用いて指定した範囲の数値の二乗を足し合わせ，個数で割った数値の平方根をとって求める．

$$r.m.s. = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1}\left(\int_{t_1}^{t_2} f^2(t)dt\right)} \tag{1}$$

ここに，r.m.s.：実効値，t_1，t_2：時間

分散は，データ範囲のなかで数値がどのぐらいばらついているか表す値である．周期的なデータをみる場合，分散が小さいほど安定したデータだということができる．また，データ範囲全体から選択した範囲の分散をとると，その範囲のばらつきがわかる．この作業を何回か行うことによって最も安定したデータ範囲を知ることができる．C 言語では，分散も for 文を用いて求める．分散は次式で与えられる．

$$v = \frac{\Sigma x_i}{n} - \bar{x}^2 \tag{2}$$

ここに，v：分散，x：数値

振動における現象についての極値を調べることによって，時間軸上の極値の変動，振幅軸上の極値の変動を知ることができ，データをグラフ化せずにデータの特徴を知るための重要な要素となる．また，上側の極値と下側の極値について分けて考えることにより，より精度の高いデータの分類を行うことができる．時間軸上の極値の変動からは，データが周期的な波形か判断することができる．また，振幅軸上の極値の変動からは，データの挙動やどのデータ範囲が安定しているかなどを知ることができる．

極値を時間軸の視点でみると，時間軸における極値の頻度分布(以下周波数頻度分布と呼ぶ)を描くことができる．周波数頻度分布は，極値の時間軸の間隔(隣り合う極値ごとの時間の差の値)を用いた．この頻度分布を用いることによって，振動における現象のデータの極値が周期的になっているか判別することができる周波数頻度分布は，上側の極値と下側の極値についての 2 つ描くことができ，2 つの頻度分布は，ほぼ同じ挙動を示す．また，他と比べて極端に小さい時間間隔にある極値は，そのデータの特性によるが，異常な値が入力されている可能性がある．安定したデータ範囲をとりたい場合は，異常な値が入力されている範囲を除外できる．

極値を振幅軸の視点でみると，振幅軸における極値の頻度分布(以下振幅頻度分布と呼ぶ)を描くことができる．振幅頻度分布は，極値の上側と下側の 2 つに分けて考え，それぞれで最大値と最小値を求め，最大値と最小値の間で分類する．振幅頻度分布を用いることによって，極値が y 軸においてどのような挙動をとっているか知ることができる．また，振幅頻度分布は，振動における現象のデータを図化した際に，どのような特徴を持つ波形なのか判別するのに最も重要な要素である．この頻度分布を用いてどのデータ範囲が安定しているか，安定した範囲は何種類あるか調べることができる．

5. 振動時間波形の代表値推定

プログラムの流れを以下に示す.

①データ全体のデータ

それぞれについて平均値，最大値，最小値，実効値を表示する.

②周波数頻度分布

上側，下側の極値の周波数頻度分布を表示し，選択した頻度分布の範囲番号の極値を表示する.

③極値についてのデータ

上側，下側の極値のそれぞれについて極値の個数，平均値，分散，最大値，最小値を表示する.

④振幅頻度分布

上側，下側の極値の振幅頻度分布を表示し，選択した頻度分布の範囲番号の極値を表示する．また，振幅頻度分布から抽出範囲を決定する.

⑤抽出範囲のデータ

選択したデータ範囲の平均値，分散，最大値，最小値，実効値，上側と下側の極値の平均値を表示する.

異なる特徴を持つ 3 種類(データ数 1000 個)の振動における現象のデータについて，プログラムを用いて判別を行う．また，判別する条件として，データをグラフ化せず，プログラムのみでデータの分類をする.

表-1　対象のデータの概要

データ名	平均値	最大値	最小値	実効値
A	0.00674	0.49949	-0.48210	0.31900
B	0.01319	2.25107	-2.20606	1.06974
C	0.00056	0.44232	-0.43040	0.18190

周波数頻度分布を用いて，データ A~C が時間軸上で周期的な波形であるか判別を行った. 図-4 はデータ A, 図-5 はデータ B, 図-6 はデータ C の周波数頻度分布をヒストグラフに置き換えたグラフである.

図-4-と図-5 をみると, 上側と下側の頻度分布は共に範囲(14)と範囲(15)に極値が集中しているのがわかる．これらのことからデータ A，データ B は，時間軸上で周期的な波形を描いているといえる.

一方，図-6 をみると，上側と下側の頻度分布は共に範囲(13)～範囲(15)に極値が固まって分類されているが，赤色で囲まれた範囲(範囲(2)～範囲(12))には，極値がばらばらな範囲に分類されているため，データ D には周期的でないデータ範囲が含まれていると予測できる.

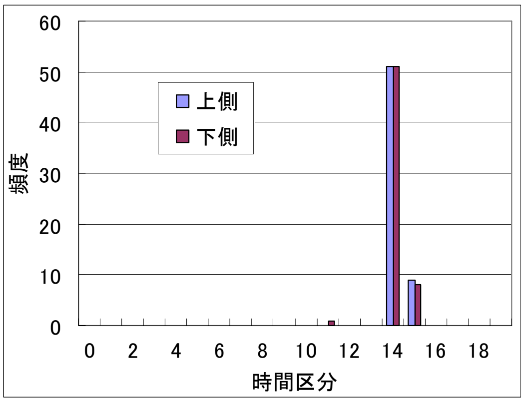

図-4　周波数頻度分布(データ A)

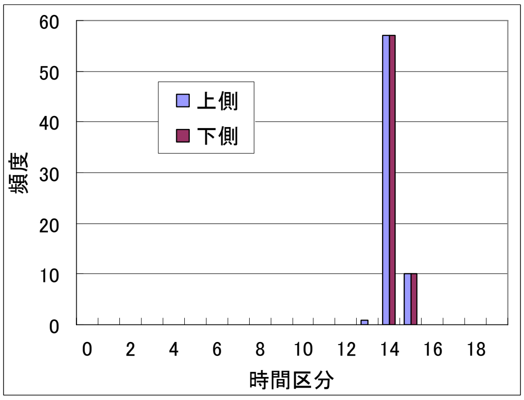

図-5　周波数頻度分布(データ B)

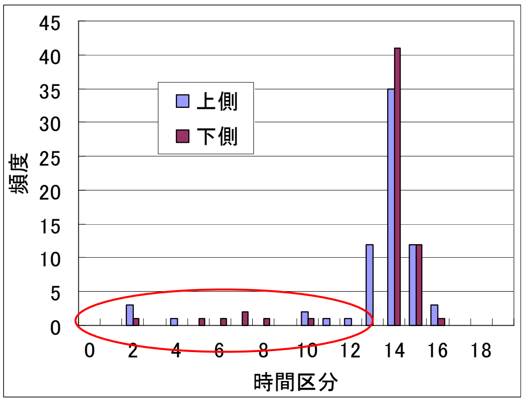

図-6　周波数頻度分布(データ C)

振幅頻度分布から，データ A~C の波形における特徴の判別を行った．図-7 はデータ A，図-8 はデータ B，図-9 はデータ C の振幅頻度分布である.

データ A から順番に頻度分布をみていくと，図-7 から上側の頻度分布は複雑になっており判別するのに時間がかかることが

わかる．一方，下側の頻度分布は，範囲(9)に極値が固まって分類されているため，データ A はデータ全体で振幅が安定していると推測できる．

図-8 からデータ B 上側の極値は，範囲(0)と範囲(7)，範囲(8)に分かれて分類されていることがわかる．また，下側の極値は，範囲(0)，範囲(1)と範囲(8)に分かれて分類されている．このことから，振幅の大きさの異なる一定のデータ範囲が 2 つあることがわかる．極値を出現順に並べた図を用いると，前半に振幅の値が小さく振幅の値が一定のデータ範囲と後半に振幅の値が大きく振幅の値が一定のデータ範囲があることが推定できる．

図-9 では，極値の分類に規則性がないため，振幅頻度分布からは，波形の特徴を推定できない．また，極値の最大値と最小値には上側，下側共に大きな開きがあることがわかる．また，分散が他のデータと比べて大きいことなどから，乱れているデータ範囲が存在していると予測でき，頻度分布の 1 つ 1 つの範囲の幅がデータ A やデータ B に比べて大きくなっている．極値を出現順に並べた図を用いても極値はばらばらとなっている．

6. 結論

本研究では，FFT 分析までは必要としないような振動時間波形を対象として，振動時間波形のピーク値と周波数成分の変化を同時に捉えることができ，時間波形の代表値をパソコンとの対話形式で推定できるようなプログラムの開発を行った．プログラムの内容として，振動時間波形のピーク値と周波数成分の変化を推定するために，振幅頻度分布と周波数頻度分布を作成した．振幅頻度分布から振動時間波形のピーク値の変化，周波数頻度分布から周波数成分の変化を推定することを目的として使用した．また，プログラムで推定したデータ範囲とデータ全体の値を比較するために，平均値，最大値，最小値，実効値を比較材料として用いた．

作成したプログラムを用いて，いくつかの振動時間波形について推定を行ったことにより，次のような結論が得られた．

(1)振動時間波形の代表値を知るために，振動時間波形を EXCEL などによって一度図化し，手動によって代表値を求めるよりも，時間が短縮でき，効率的であることがわかった．

(2)FFT 分析までは必要としないような振動時間波形では，本研究で開発したプログラムを用いて波形の特徴を把握し，代表値の推定を行うことができた．

(3)振幅の挙動が激しい振動時間波形の場合でも，データ全体で実効値を代表値として算出することまではできた．

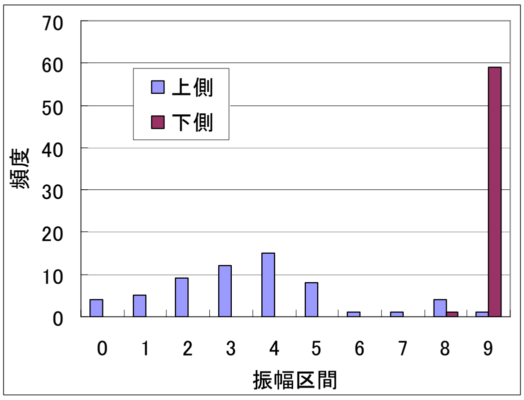

図-7　振幅頻度分布(データ A)

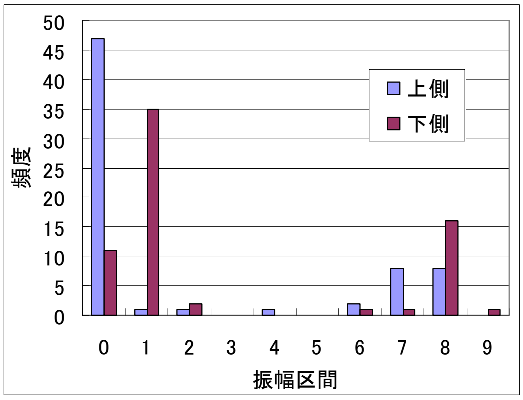

図-8　振幅頻度分布(データ B)

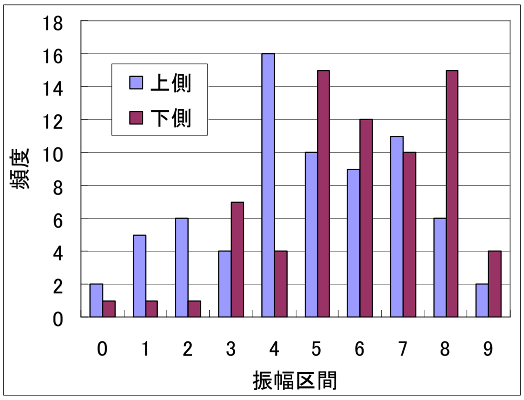

図-9　振幅頻度分布(データ C)

参考文献

1)中田和良：セルオートマトン法による騒音伝搬解析への無限境界の導入，長岡技術科学大学大学院工学研究科修士論文，2011

2) 林晴比古：改訂新 C 言語入門スーパービギナー編，p100-102，厚徳社，1998，ISBN　4-7973-0671-8