

立命館大学工学部 正 小林 紘士
佐 賀 県 正 〇寺田年典

1. まえがき

地震による地盤振動、風による橋梁の振動などの測定では、不動点が取れないため、変位の測定が困難であり、加速度ピックアップによる測定が普通である。加速度より変位を求めるには、積分アンプにより積分するか、数値積分により計算する方法がある。しかし、いずれの方法も測定計器のドリフト、データの読み取り誤差、数値積分誤差などの影響のため正確な変位波形を得ることは難しい。本方法は、加速度データをフーリエ変換し、周波数領域で積分を行い、逆変換して速度、変位を求めようとするものである。

2. 計算方法

変位、速度、加速度をそれぞれ $x(t)$ 、 $\dot{x}(t)$ 、 $\ddot{x}(t)$ とし、そのフーリエ変換を $X(\omega)$ 、 $\dot{X}(\omega)$ 、 $\ddot{X}(\omega)$ とすると、フーリエ変換の微積分の関係により、 $\dot{X}(\omega) = G(\omega)/(i\omega) = H(\omega)/(i\omega)^2$ となる。従って、 $H(\omega)$ が求められれば $G(\omega)$ 、 $F(\omega)$ が計算され、逆変換すれば、 $\dot{x}(t)$ 、 $x(t)$ が得られる。デジタル計算に適した式として書けば、

$$H(f) = \Delta t \sum_{k=0}^{N-1} \ddot{x}(j) \exp(-i2\pi f k \Delta t)$$

$$G(f) = H(f)/i\omega = H(f)/\frac{2\pi f}{\Delta t} (j-1)$$

$$F(f) = H(f)/(i\omega)^2 = H(f)/\frac{2\pi f}{\Delta t} (j-1)^2$$

ここに、 f : j 番目の周波数、 N : データ数

Δt : サンプリング間隔

となる。計算過程の概略を流れ図で示すと、図-1 の通りである。両端部については、データをフーリエ変換した場合、 N 個を1周期とし、両端で不連続となり悪影響を及ぼすので、両端の値がなめらかに0となるように調整する(2)。

また、前記の微積分の関係の条件として平均値が0となることと必要であるから、強制的に基準線を移動する(3)。

フィルタ関数については、低周波成分を除去するため、ガウス分布曲線の High Pass Filter を用いる(5)。この方法により、i) 正弦波加速度、ii) EL CENTRO 地震加速度、iii) 模型実験により得られた加速度、を用いて変位を求めてみた。

3. 計算結果および考察

i) 正弦波加速度の場合

周期 1 sec の正弦波をサンプリング間隔 $\Delta t = 0.105$ sec で、 $N = 512$ として数値積分を行なった。0.5 Hz の High Pass Filter を用い、変位の計算値と理論値との誤差を振幅に

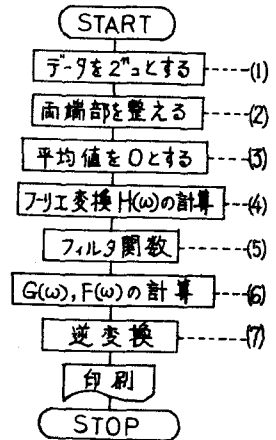


図-1 計算の流れ図

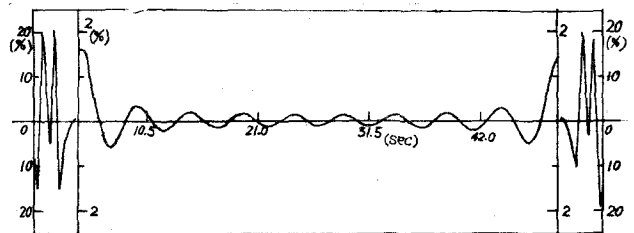


図-2 正弦波加速度による計算の誤差

図-2は、このデータプロットしたものが図-2である。次に512個のデータの両端に256個ずつの0値を余分に加えた場合の誤差曲線を図-3に示す。図-2の場合、両端部で誤差が大きくなり中央では小さいが、

図-3では、精度がかなり向上するという結果を得た。

ii) EL CENTRO 地震加速度

EL CENTRO地震加速度データをも積分して変位を求めた結果を図-4に示す。実線、破線はそれぞれ0.125Hz、0.20HzのHigh Pass Filterを用いた結果である。Filterを用いず計算した場合、約0.14程度の低周波成分が出たので、それをなくすため、Filterを用いた。この場合実測変位が不明であるが、一般に最大変位は20cmと言われており本方法では18.8cmとなった。また図-5に示すG.V.Bergらによる計算結果⁹⁾とは比較的よく一致している。

図-3 正弦波加速度による計算の誤差

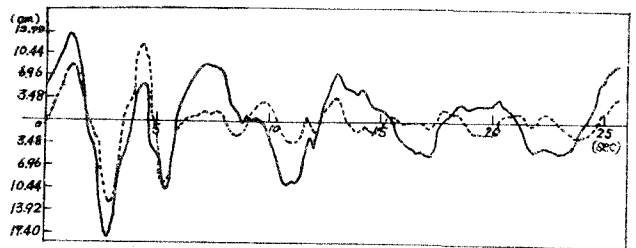


図-4 EL CENTRO地震データによる変位

iii) 模型実験データの場合

模型実験データは卓越周期約0.6秒の不規則振動である。Δt=0.133Sec、1024個のデータを用い、0.4HzのHigh Pass Filterを用いた。図-6に加速度データを数値積分して求めた変位を実線で、実測変位を破線を示す。両者を比較すると、位相、振幅とも、ほぼ一致した結果がみられる。誤差の原因は、加速度データの雑音によるものが大であろうと思われる。

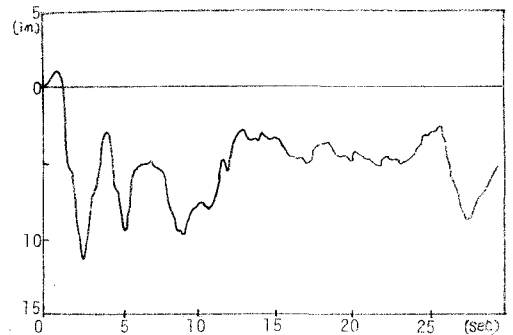


図-5 EL CENTRO地震変位(G.V.Berg他)

4. あとがき

高速フーリエ変換を用いて、加速度データの数値積分を行ない、速度、変位を求めてみたが、ほぼ満足のいく結果が得られた。今後、さらに高精度の加速度、変位の実測値を用いて本方法の信頼性を検討したい。

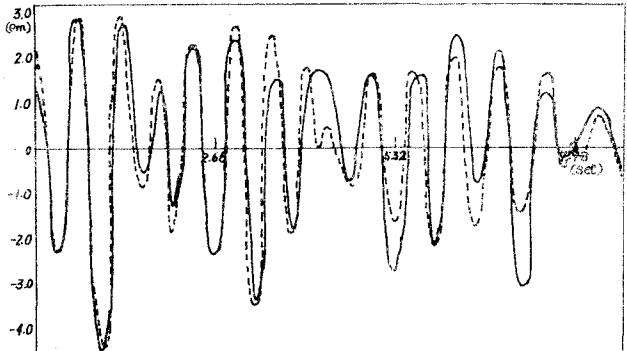


図-6 模型実験データによる変位

参考文献 1) G.V.Berg, G.W.Howsner
「Integrated Velocity and Displacement
of Strong Earthquake Ground Motion」

Bull. of Seis. Soc. of Am. Vol 51 No.2 1961