

構造物振動測定での攪乱波形混入と波形近似分析における一考察

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 木口博之
同 上 正会員 山下彰彦

1. はじめに

河川橋梁橋脚振動、高架橋振動を測定することによって、橋脚根元状態の推測あるいは高架橋部材作用力・変位の推測などを行うことができる。筆者らは河川橋梁橋脚振動あるいは高架橋振動の測定(写真—1)を行っているが、状況によっては最大振幅1mm程度のものを測定することがある。微小振動では、計測センサーの測定感度と精度、データ処理過程での有効数字の大きさと精度、測定機器の設置箇所自体での振動の大きさ、誘導電流によるノイズの大きさ等を考慮せざるを得ない。なぜなら、測定データ値の大きさが微小な場合であれば、各種の攪乱要素が加わったときに、たとえ攪乱要素による影響値が小さいものであっても、対象物の測定データ値が極めて歪んだものとなり得るからである。ここでは、真の振動波に対してどの程度の攪乱要素が混入すれば推定振動波はどのように歪むか、ということについて考察をする。このことによって、どの程度の攪乱要素の環境下であれば、どのような測定感度と精度を持った計測機器が必要であるのかを知ることができる。

2. 検討モデルと検討論理

真の振動波に対して、そこに攪乱要素波が加わった場合、一定の時間刻みで測定したデジタルの測定データは、歪みを含んだものとなる。そこで、攪乱要素波として真振動波に比べ周期の短い三角形状波のものと真振動波に比べ周期の長い三角関数波を設定することにする。次に、その攪乱要素波の大きさを変化させ真振動波への影響を調べることにする。

真振動波 $X_0(t)$ は、時間(秒)を変数 t として

$$\left. \begin{array}{ll} \sin \pi t + 2 \sin 2\pi t & 0 \leq t \leq 2 \\ \cos(0.5\pi(t+1)) + \sin \pi t + 2 \sin 2\pi t & 2 \leq t \leq 4 \\ 0 & 4 \leq t \end{array} \right\}$$

であるとする。最初の2秒間は1/2と1Hzの周期関数で構成され、次の2秒間には1/4Hzの周期関数が加わるものである。

攪乱要素波 $X_1(t)$ は、20Hzの一定三角形状のもので、時間秒を変数 t として



写真—1 鉄道高架橋での振動測定

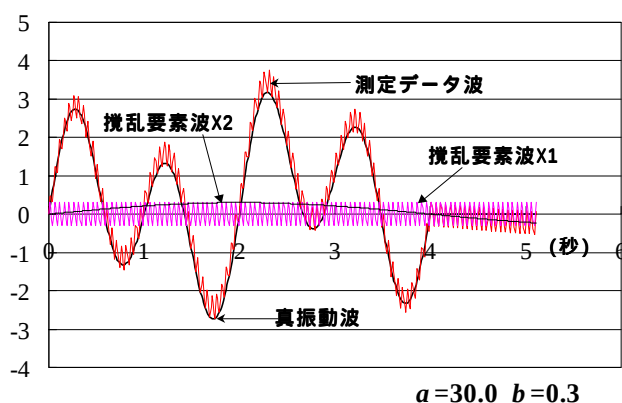


図-1 真振動波と測定データ値

$$\left. \begin{array}{ll} at & 1 \leq t \leq 1/80 \\ -a(t-i/40) & (2i-1)/80 \leq t \leq (2i+1)/80 \\ a(t-i/40) & (2j-1)/80 \leq t \leq (2j+1)/80 \\ a(t-320/40) & 639/80 \leq t \leq 8 \end{array} \right\}$$

ここに、 $i = 1, 3, 5, \dots, 317, 319$
 $j = 2, 4, 6, \dots, 316, 318$

であるとする。

攪乱要素波 $X_2(t)$ は、

$$b \cos(0.25\pi t - 0.5\pi) \quad 0 \leq t \leq 8$$

であるとする。

要素攪乱波は8秒間継続しその後消滅するとした。

時刻 0 から 4 秒までの真振動波、 $a = 30.0$ 、 $b = 0.3$ のときの測定データ波（真振動波に攪乱要素波が含まれるもの）を図-1 に示す。

測定データ値の時間刻み Δt を 0.01 とし、継続時間を 5.11 秒間とりデータ数 N を 512 個とする。測定データ値 x_m に対応する真振動値を x_{0m} と表現する。

そこで、真振動値 x_{0m} と測定データ値 x_m の差異の 2 乗を加算した誤差関数 S_m を次のように定義し、

$$S_m = \sum_{m=0}^{N-1} (x_{0m} - x_m)^2$$

標準誤差分布値 σ_e を次のように定義する。

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} (x_{0m} - x_m)^2}$$

標準誤差分布値 σ_e の真振動値 x_{0m} に対する大きさを評価するために、真振動値 x_{0m} の 2 乗平均（平均パワー）の平方根を x_{2ave} と表記する。

$$x_{2ave} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} x_{0m}^2}$$

攪乱要素波の誤差指標 I_e を次のように定義する。

$$I_e = \sigma_e / x_{2ave}$$

攪乱要素波と誤差指標 I_e の関係について、 X_1 のパラメータ a を変化させ X_2 のパラメータ b を 0.3 で一定としたものの誤差指標 I_e との関係を図-2 (1) に示し、 X_1 のパラメータ a を 30.0 で一定にして攪乱要素波 X_2 のパラメータ b を変化させたときの標準指標 I_e との関係を図-2 (2) に示す。

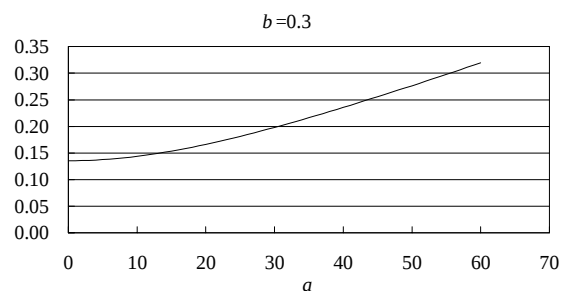
図-2 によれば、攪乱要素波 X_1 だけ、 X_2 だけを加えたときのいずれも I_e は約 0.14 である。攪乱要素波 X_1 と X_2 の両者を加えたときは約 0.20 である。パラメータの増加に伴う I_e の増減割合は、攪乱要素波 X_1 と X_2 の振幅が共に 0.3 の付近において、振動周期が短い三角波の攪乱要素波 X_1 の方が大きい傾向があるが、攪乱要素波 X_2 との差異は顕著なものでない。

3. フーリエ スペクトル

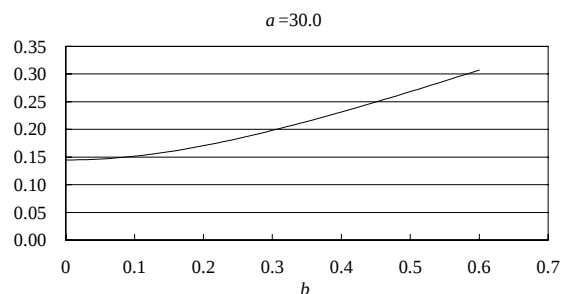
測定データ値 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{N-1}, x_N$ が t を変数とした有限三角級数で表せると仮定して、 $t = m\Delta t$ とおくと次式が成り立つ¹⁾。

$$x_m = \sum_{k=0}^{N/2} \left[A_k \cos \frac{2\pi km}{N} + B_k \sin \frac{2\pi km}{N} \right]$$

$$m = 0, 1, 2, \dots, N-1$$



(1) 攪乱要素波 X_1 パラメータ a と誤差指標 I_e の関係



(2) 攪乱要素波 X_2 パラメータ b と誤差指標 I_e の関係

図-2 攪乱要素波と誤差指標 I_e

k の値	真振動波	測定データ波
0	0 . 4 9 7 3	0 . 7 4 3 3
1	0 . 1 5 4 9	0 . 3 5 9 6
2	1 . 1 0 2 3	1 . 0 9 4 4
3	0 . 2 2 0 4	0 . 2 3 4 5
4	0 . 1 8 9 0	0 . 1 6 9 8
5	1 . 5 3 8 0	1 . 5 5 1 8
6	0 . 5 9 0 2	0 . 5 8 4 2

表-3 真振動波と測定データ波のフーリエスペクトル

真振動波について、図-1 に示した測定データ波についてそれぞれのフーリエスペクトルを表-3 に示す。

表-3 では測定データ波において $k=1$ でのフーリエスペクトルが大きくなるなどの差異が見られる。

4. あとがき

流水による河川橋梁の橋脚振動、車両走行による高架橋の振動における測定データ値はいずれも高い周波数を含んだものであった。今回は、真の振動波と攪乱要素波を設定し、攪乱要素波の振幅を中心とする感度分析について取り上げた。今後、異なる測定機器システムを使って同じ物を動的測定を行い、その差異から攪乱要素波について検討を加えることを考えている。

参考文献

- 1) 大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門、pp.25-33、鹿島出版会、1994。