

I-33

長大支間斜張橋の

自動解析システムによる振動測定について

北海道大学工学部

正員 渡辺 昇

九州工業大学情報工学部

今井 洋

㈱日本製鋼所

正員 南部 洋平

㈱北海道技術コンサルタント

正員 橋本 真一

㈱橋梁設計コンサルタント

正員 林 義税

1. まえがき

橋や建築物などの構造物の振動周期や減衰定数を実測する方法として、従来、大型起振機を用いて橋などを揺すっていたが、これは作業性がわるく費用も高価であった。そこで、振動波形を簡単に実測する方法として、HW法（Hokkaidou-daigaku Watanabe法）が実用化されてきている。これは、少ない加振エネルギーで構造物を揺すり、センサーとしてきわめて感度の高い超高感度地震計を用い、その応答振動波形をキャッチしようというアイデアによるものである。

最近、パソコンが普及し、特に、携帯式のラップトップ型パソコンも安価に入手できる時代になってきた。そこで、このラップトップ型パソコンを利用して、橋などの現場において、HW法を簡便に速く実施する方法を開発したので報告する。

2. 振動波形のフーリエ解析の理論

図-1のような周期 T の波形について、フーリエ解析しよう。

1周期 T の間を M 個に等分した各時刻

における x の値が与えられている。これら M 個の時点を $t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_M$

それに対する波形の x の値を $x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_M$ とすると、次式が成り立つ。 ($N \leq M/2$)

$$x_k = \frac{a_0}{2} + \sum_{j=1}^N \left(a_j \cos \frac{2\pi k j}{M} + b_j \sin \frac{2\pi k j}{M} \right) \dots (1)$$

ここで、フーリエ係数 a_j, b_j は次式より求まる。

$$a_j = \frac{2}{M} \sum_{k=1}^M x_k \cos \frac{2\pi j k}{M}, b_j = \frac{2}{M} \sum_{k=1}^M x_k \sin \frac{2\pi j k}{M} \dots (2)$$

$$j \text{ 次のパワー: } \frac{1}{2} X_j^2 = \frac{1}{2} (a_j^2 + b_j^2) \dots (3)$$

$$j \text{ 次の固有周期: } T = \frac{\Delta t \cdot M}{j} = \frac{T}{j} \dots (4)$$

すなわち、図-1における $x_1, x_2, \dots, x_M$ が与えられるから、式(2)により a_j, b_j が求まり、さらに、式(3),(4)により j 次の固有周期における j 次のパワーが求まる。なお、 a_j, b_j の値を式(1)に入れて x_k を計算してみると、図-1の x_k にはば一致する筈だから、式(1)は検算に用いることができる。

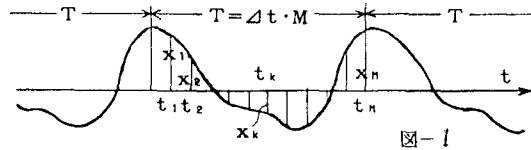


図-1

Vibration Analysis of Longspan Cablestayed Bridge by Personal Computer System

by Noboru WATANABE, Iyou IMAI, Iyouhei NANBU, Shinichi HASHIMOTO and Yoshichika HAYASHI

3. パソコンによるフーリエ解析のプログラム

パソコンの MS-FORTRAN によるフーリエ解析のプログラムを示すと、次のとおりである。

```
C      *****FOURIER ANALYSIS*****
C      *****CODED BY WATANABE NOBORU*****

      DIMENSION X(200),A(100),B(100),C(100,200),Y(200),
1      TK(100),F(100),P(100),PT(100),PWR(100)
      READ(*,*) T
      READ(*,*) M,N
      READ(*,*) (X(K),K=1,M)
      PAI=3.141593

      DO 10 J=0,N
      A(J)=0.0
      DO 20 K=1,M
      C(J,K)=2.0*PAI*K*J/M
20      A(J)=A(J)+2.0/M*X(K)*COS(C(J,K))
10      CONTINUE

      DO 30 J=1,N
      B(J)=0.0
      DO 40 K=1,M
      C(J,K)=2.0*PAI*K*J/M
40      B(J)=B(J)+2.0/M*X(K)*SIN(C(J,K))
30      CONTINUE

      WRITE(*,110)
      WRITE(*,100) (X(K),K=1,M)
      WRITE(*,110)
      WRITE(*,100) (A(J),J=0,N)
      WRITE(*,110)
      WRITE(*,100) (B(J),J=1,N)
      WRITE(*,110)
100     FORMAT(5E12.4)
110     FORMAT(//)

C      *****CHECK*****
      DO 200 K=1,M
      Y(K)=A(0)/2.0
      DO 210 J=1,N
      C(J,K)=2.0*PAI*K*J/M
210     Y(K)=Y(K)+A(J)*COS(C(J,K))+B(J)*SIN(C(J,K))
200     CONTINUE
      WRITE(*,100) (Y(K),K=1,M)
      WRITE(*,110)

C      *****POWER SPECTRUM*****
      DO 300 K=1,N
      PWR(K)=0.5*(A(K)**2+B(K)**2)
      P(K)=SQRT(2.0*PWR(K))
      PT(K)=P(K)*T*0.5
      F(K)=K/T
      TK(K)=1.0/F(K)
300     WRITE(*,120) K,TK(K),F(K),P(K),PT(K),PWR(K)
120     FORMAT(I6,F7.2,F8.2,3F8.3)
      WRITE(*,110)

      STOP
      END
```

4. 長大支間斜張橋の振動実測と解析例

図-2のような中央支間 250m の斜張橋の振動実測とパソコンによるフーリエ解析について述べる。

1) 振動実験の方法

加振方法は次の4通りとした。

(a)人の跳躍, (b)トラック車輪のステップ衝撃, (c)トラックの走行, (d)自然風。

応答振動測定センサーには、きわめて感度のよい携帯式の超高感度地震計を用いた。

加振位置およびセンサー位置は、図-3および表-1のとおりである。

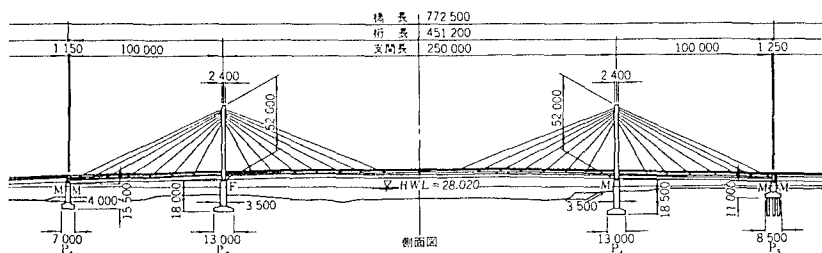


圖-2 十勝中央大橋

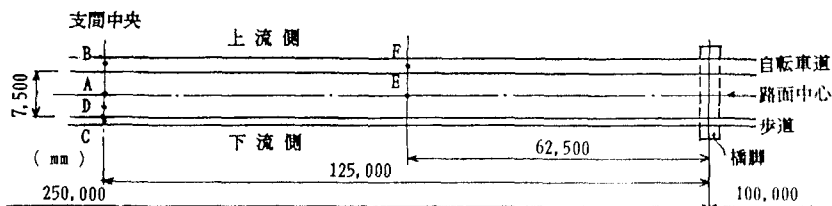


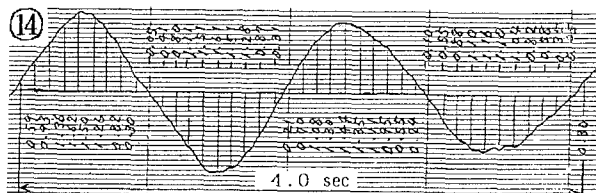
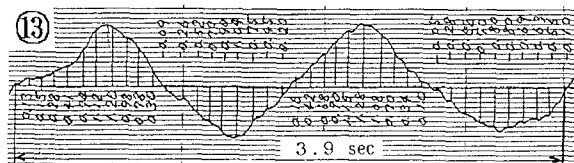
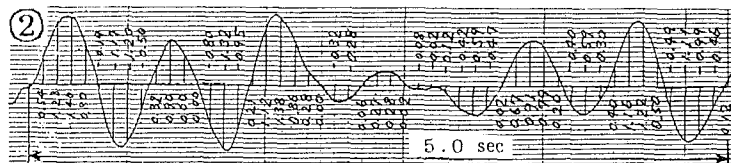
図-3 中央径間における加振位置とセンサー位置

表-1 加振位置とセンサー位置

実験 番号	加振方法		加振 位置	セン サ位置
①	人の跳躍		A	A
②			A	A
③			E	F
④			B	B
⑤			B	B
⑥	ステッ プ車輪の トラック 重畳	一 軌道 輪	A	B
⑦			A	B
⑧		一 軌道 輪	A	B
⑨			A	B
⑩			D	B
⑪		A	F	
⑫	トラック 走行			B
⑬				B
⑭	自 然 風			B

2) 応答振動波形

②, ⑬, ⑭の場合の応答振動波形を次に示す。



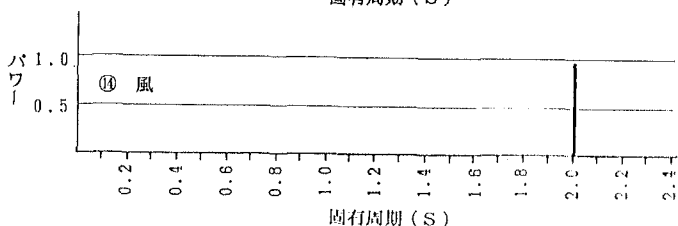
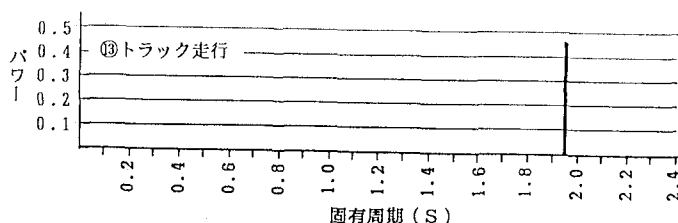
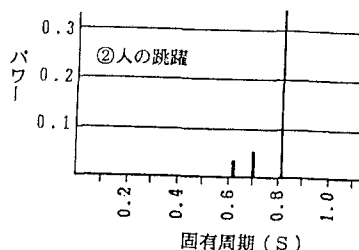
3) パワースペクトル

本橋の振動周期の有限要素法などによる理論解析値を表-2に示す。

②, ⑬, ⑭の応答振動波形を、3. のプログラムによりパソコン計算したパワースペクトルを次に示す。

表-2 実橋の振動周期の解析値

		周 期 (sec)	振 動 数 (Hz)
曲げ振動 (鉛直)	1次振動	1.96	0.511
	2 "	1.41	0.707
	3 "	0.90	1.111
	4 "	0.80	1.246
捩れ振動	1次振動	0.63	1.580
	2 "	0.42	2.358
	3 "	0.34	2.902



5. パソコンによる自動解析システムについて

この自動解析システムを作るには、次のものを購入して組み合わせる。

①ラップトップ式パソコン(3.5inch FD)

A/D変換ボード等増設可能なスペースをもったパソコンであること。例えば、EPSON 286LS-STD.

②増設RAMボード (2メガバイト増設) P10-PC34E-2MB

③A/D変換ボード (アナログ波形をデジタル波形に変換する回路が組み込まれているボード) 例えば、インターフェース社: 98AD12(16)-LH

④前記の3.のようなフーリエ解析用パソコンソフト。例えば、CANOPUS電子機: FFT機能付デジタルオシロスコープソフト DSS98-SV.

⑤アンブ

⑥センサー。例えば、前記の超高感度地震計。

このシステムは、センサーから入ってきた振動のアナログ波形が、パソコンのBドライブのFDにデジタル波形に変換されて記録されるから、そのFDは保存がきく。次に、パソコンのAドライブにFFTのソフトのFDを、Bドライブにデジタル波形が記録された先ほどのFDを、セットし、作動すれば、パソコンの画面、あるいはプリンターに結果が示される。