

I-40 十勝中央大橋の実橋振動測定

株式会社設計事務所 正員 東山久雄
 北海道十勝支庁 桑原孝
 北海道十勝支庁 竹居田博成

1. まえがき

十勝中央大橋は、農林水産省所管の補助事業である道営広域営農団地農道整備事業、十勝中央地区の主要工事として計画された、北海道の東部にある十勝川を横断する橋長772.5mの橋梁である。図-1の一般図のように、主橋梁部は中央径間が250m、側径間が両側100mの3径間連続鋼桁を補剛桁とする斜張橋である。本橋の設計の段階で、耐風安定性を配慮し、風洞実験を行なった。実験用模型の構造減衰定数については、本四基準の $h=0.02$ とほぼ同じ値を設定した。また、実橋の振動性状については、斜張橋全体の三次元有限要素法による自由振動解析を行い、表-1のような解析値を得ていた。昭和63年秋、本橋が完成したので、交通開始前の10月28、29日に、実橋上で現場振動実験を行い、貴重な結果を得たので、ここに報告する。

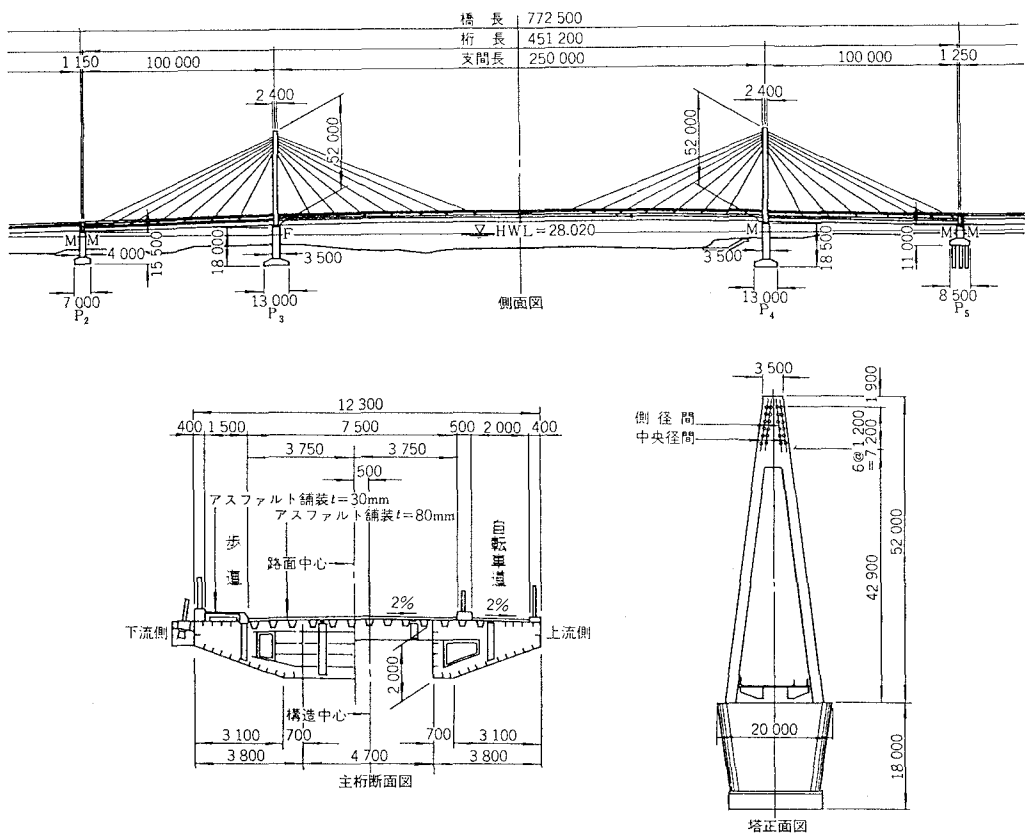


図-1 十勝中央大橋の一般図

2. 実橋振動実験の方法

加振方法は次の4方法とした。

- (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、超高感度地震計を用いた。

(HW振動測定法)

加振位置およびセンサー位置は、図-2および表-2のとおりである。

表-1 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

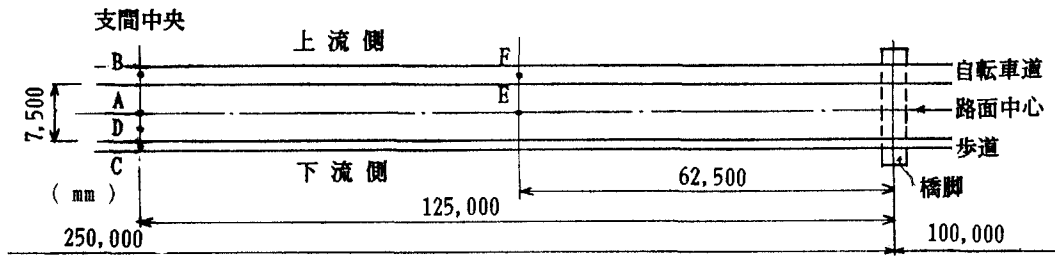


図-2 中央径間における加振位置とセンサー位置

3. 応答振動波形のフーリエ解析の理論

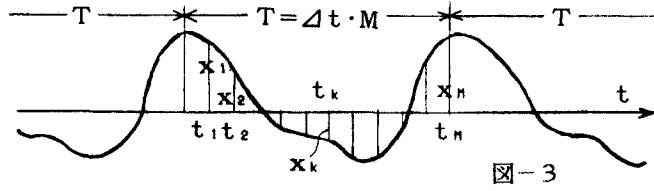


図-3

図-3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 $x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_M$, とするとき、次式が成り立つ。 ($N \leq \frac{M}{2}$)

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

ここで、フーリエ係数 a_j, b_j は次式より求まる。

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

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

すなわち、図-3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、式(3)によりj次パワーが求まる。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-3の x_k に一致する筈だから、式(1)は検算に用いることができる。

表-2 加振位置とセンサー位置

実験番号	加振方法	加振位置	センサー位置
①	人の跳躍	A	A
②		A	A
③		E	F
④		B	B
⑤		B	B
⑥	トラック車輪のステップ衝撃	A	B
⑦		A	B
⑧		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

4. 応答振動波形 (図-4)

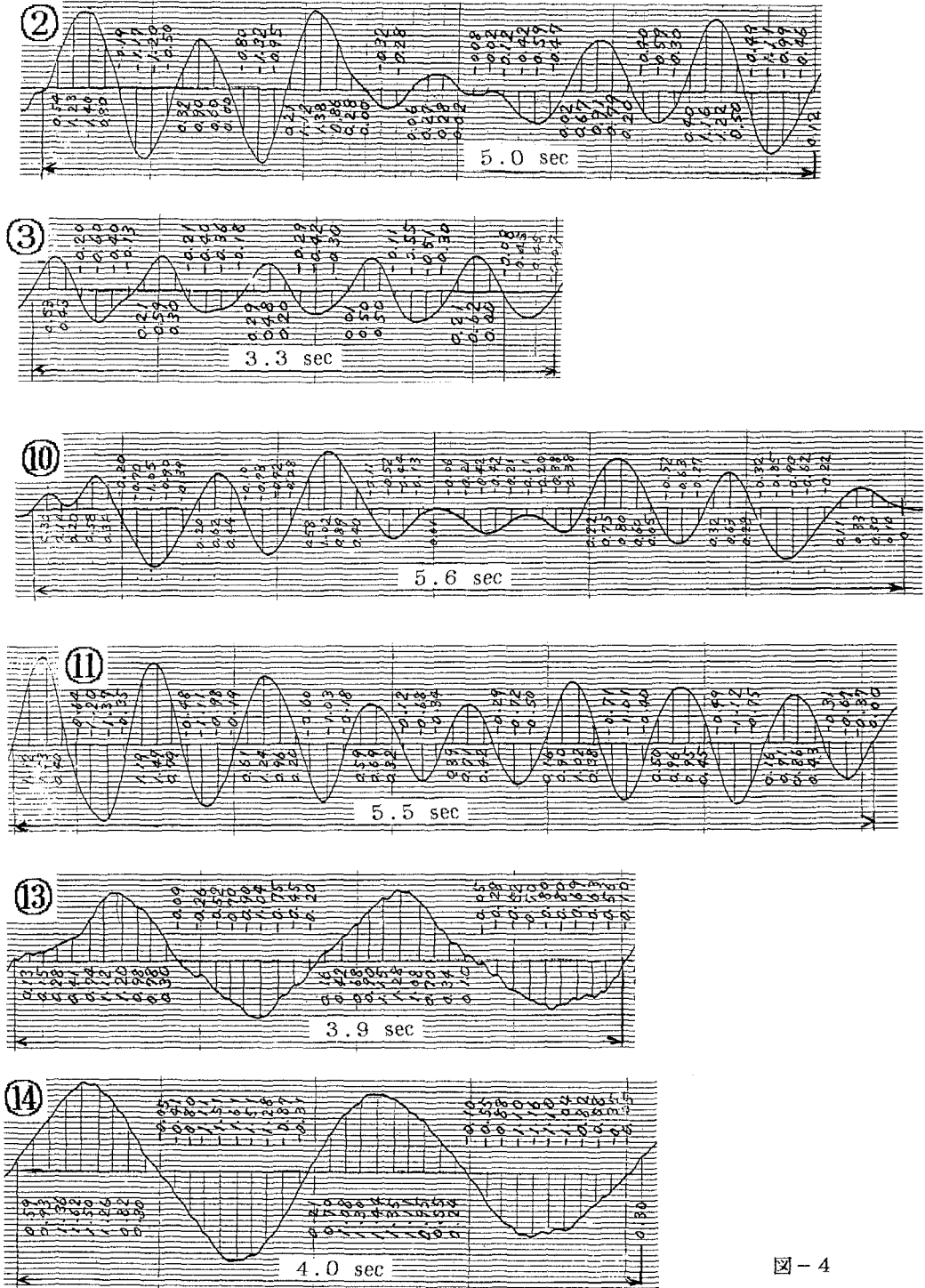


図-4

5. パワースペクトル (図 - 5)

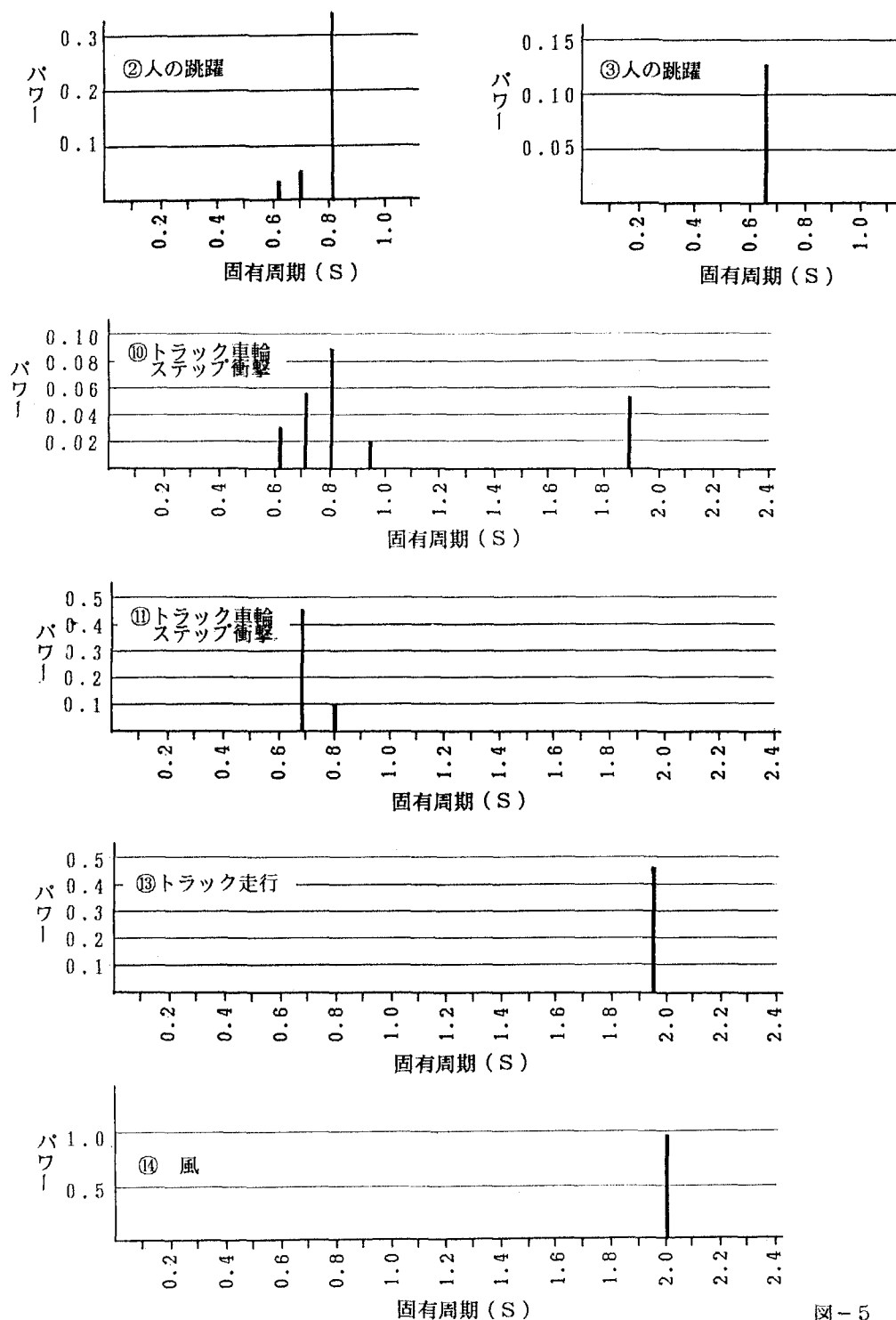


図 - 5

6. 実験結果の考察

表-2, 表-1と図-5とを比較してみることににより、次のような考察が得られる。

②の実験：

- 1) 人の跳躍による加振位置A点は橋の構造中心より 0.5 m偏心している。したがって、橋に対して曲げ加振とねじり加振を同時に与えたことになる。
- 2) 4次の曲げ振動周期0.8 secと1次のねじり振動周期0.63 secが記録された。
- 3) 人の跳躍による加振方法では、斜張橋の中央支間250 m全体をゆすることはできない。
- 4) 4次の曲げ振動を記録したということは、多数の斜索バネで支持された短支間の桁をゆすったことに相当している。

③の実験：

- 1) 人の跳躍による加振位置E点、センサー位置F点ということは、橋に対して高次の曲げ加振と低次のねじり加振を与え、主としてねじり加振を記録したことになる。
- 2) 1次のねじり振動周期0.63 secが記録された。

⑩の実験：

- 1) トラックの前輪による加振位置D点、センサー位置B点ということは、橋に対して大きなねじり加振と小さな曲げ加振を与え、主としてねじり振動を記録したことになる。
- 2) 1次、3次、4次の曲げ振動と1次のねじり振動が記録された。
- 3) トラックの前輪によって加振したので、人の跳躍による加振にくらべると、加振エネルギーが大きく、ねじり振動のほかに1次の曲げ振動が記録された。

⑪の実験：

- 1) トラックの前輪による加振位置A点、センサー位置F点ということは、橋に対して曲げ加振とねじり加振を与えたことになり、主としてねじり振動を記録したことになる。
- 2) 4次の曲げ振動と1次のねじり振動が記録された。
- 3) 4次の曲げ振動を記録したということは、センサー位置がF点であったことに大きな原因がある。

⑬の実験：

- 1) トラック走行による加振である。1次の曲げ振動周期1.96 secが記録された。
- 2) トラック走行による加振方法は、非常に大きなエネルギーがあり、斜張橋の中央支間250 m全体をゆするには最適である。

⑭の実験：

- 1) かなり強い自然風による加振である。1次の曲げ振動周期1.96 secが記録された。
- 2) かなり強い自然風による加振方法は、非常に大きなエネルギーがあり、斜張橋の中央支間250 m全体をゆするにはよい。

以上の実験結果より次のことが明らかになった。

- 1) 応答振動測定センサーとして超高感度地震計を用いるHW振動測定法は有効である。
- 2) 斜張橋全体の三次元有限要素法による振動解析値と実橋の現場振動実験による測定値とはよく一致したので、解析値の正当性が確認された。
- 3) 支間250 mのような大きな橋をゆするには、トラック走行による加振方法が有効である。
ただし、1次の振動のみが記録される。
- 4) 支間250 mのような大きな橋の1次振動は、かなり強い自然風による加振方法によっても測定できる。

7. 構造減衰定数 h

実験番号⑬トラック走行による実験において、トラックが橋外に去った後の応答振動波形が図-6である。この波形をマクロ的に見ると、周期2.0secで、徐々に減衰していることがわかる。

この大きな波に、トラック自身の短周期の振動波が乗っている。

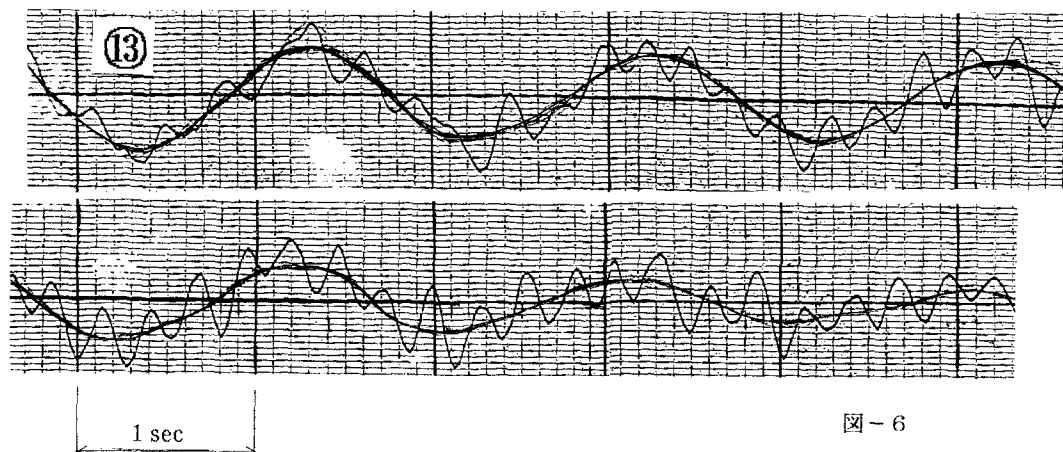


図-6

この大きな波は、斜張橋の中央支間250mの部分の1次曲げ振動を示している。

図-6におけるマクロ的に見た大きな波から、対数減衰率 δ を求めてみると $\delta=0.13\sim0.17$ であった。これを 2π で除して構造減衰定数 h を求めると $h=0.020\sim0.027$ であった。

この実験結果より次のことが明らかになった。

- 1) 本橋の風洞実験において設定された構造減衰定数は、 $h=0.02$ であった。すなわち、実橋の構造減衰係数 h は0.02以上でなければならないのである。
それについて、今回、図-6の実験結果より、 $h=0.02\sim0.027$ であることが確かめられたので、風洞実験の意義が正当化されることになった。
- 2) 支間250mのような大きな橋を加振するには大きな加振エネルギーを必要とする。そのためには、トラック走行による加振方法は有効であり、その橋の構造減衰定数 h を測定するには、トラックが橋外に去った後の応答振動波形をマクロ的に解析すればよい。
- 3) 支間250mのような大きな橋を加振するには、かなり強い自然風を利用するのもよいが、その橋の構造減衰定数 h を測定することは難しい。

8. あとがき

中央支間250mの十勝中央大橋の現場振動実験を行った結果、次のような貴重な結果を得た。

- 1) 応答振動測定センサーとして超高感度地震計を用いるHW振動測定法は有効である。
- 2) 応答振動波の振動特性を解析するには、フーリエ解析によるパワースペクトル解析が有効である。
式(1)、(2)、(3)を用いて、パソコンで計算した。
- 3) 本橋の三次元有限要素法による振動解析値は正当であった。
- 4) 本橋の風洞実験において設定された構造減衰定数 $h=0.02$ は正当であった。