

土 木 研 究 所 資 料

(第 2 6 4 号)

菌原橋・大峰橋振動試験報告書

昭和 4 2 年 3 月

建設省土木研究所

目 次

諸 言	1
1. 試験の目的と方法	3
1.1 試験の目的	3
1.2 試験の方法	3
2. 試験の対象とした吊橋の諸元	7
2.1 設計基準	7
2.2 試験橋梁の諸元	8
3. 試験の結果	20
3.1 蕨原橋試験結果	20
3.2 大峰橋試験結果	20
4. 理論値との比較および結果に対する考慮	43
4.1 概 要	43
4.2 共振波形	43
4.3 固有振動数	44
4.4 構造減衰	45
4.5 載荷試験	45
5. むすび	45
追 記	48

諸 言

他の橋梁に較べた吊橋の力学的特性はすでに多くの研究者によつて指摘され、そのいくつかは理論と実験の両面からの研究によりかなり明らかにされている。反面、ほとんど解明されていない問題もある。例えば、吊橋の動的特性について考えずみれば、固有振動数の計算方法、振動波形の推定などは理論式がかなり信頼できるものになっているが、対数減衰率は後者の例である。

一方、構造物の動的安定性を検討する場合に、対数減衰率は固有振動数、振動波形とともに大きな役割をはたすものであり、吊橋の耐風安定性を論ずる場合にも例外ではない。

現在我々が吊橋の対数減衰率を推測する最も確実な手段は類似の実橋について振動実験を行なうことである。

当研究室では本州・四国連絡架橋調査の一環として、吊橋の振動特性の解明を目的に、これまで数橋の吊橋について振動試験を実施して来たが、実橋の構造減衰を推測するには実験値の集積が十分でない。そこで新たに、昭和39年度に蘭原橋を、昭和40年度には大峰橋をとりあげ振動実験を実施した。

蘭原橋は二ツ瀬ダム工事の際に仮設用につくられた吊橋が工事の完了に伴ない不用となつたため解体し、蘭原ダムの建設に伴ない附替橋梁として現地に再建したものである。本橋の実験は関東地方建設局蘭原ダム工事事務所と共同で行なつた。また大峰橋は天ヶ瀬ダムの建設のため宇治川に架設された附替吊橋である。

試験に際しては吊橋の固有振動数、振動波形、対数減衰率を測定するための振動試験の他に、重量自動車による載荷試験も追加した。

これらの実験結果の整理が終了したのでここに報告する。

昭和42年3月

構造研究室長

構造研究室員

"

"

"

"

"

元構造研究室員

"

大久保 忠 良

成 田 信 之

榎 波 義 幸

三 牧 翹 夫

田 中 勇 夫

高 安 栄 寿

奥 繁 美

橋 詰 武 治

鷹 取 勲

1. 試験の目的と方法

1.1 試験の目的

諸言にも述べたとおり、吊橋は他の形式の橋梁に比較して、かなり異なつた振動特性を有している。それは主として stress member である main cable が非常に可撓性に富んでいると云う構造上の特徴による。一方、耐風安定性等、吊橋の動的な安定性に検討を加える場合には、その振動特性を確実に把握しておくことが必要である。

構造物の動的安定性を問題にする場合、特に重要な意味をもつて来るのは固有振動数、振動波形及び構造減衰であるが、吊橋ではこのうち固有振動数と振動波形について今までに多くの理論的研究や実験的検証がなされており、理論解の正確さはすでに模型実験によつて確かめられている。

しかしながら、もう一つの因子である構造減衰は、継手における摩擦や材料の内部減衰等に起因するものであつて模型化や理論的解析が困難な現象である。しかも動的安定性を取扱う場合に構造減衰が占める役割は決して小さくない。従つて我々は何んらかの方法で吊橋の構造減衰の大きさを推定する必要があるが、現在我々に与えられている確実な手段と云えば実橋試験以外にない。それも数多くの吊橋について、その構造減衰を実測し、実験値の集積を行なつてのち決めねばならない。

当研究室では今までにも以上の目的で 2, 3 の吊橋について振動実験を行なつてきたが今回の実験も同様な目的で計画したものである。

しかしながら、同一の試験装置で吊橋の固有振動数、振動波形を測定することが容易に可能なので、今回もこれらの値を測定し理論解との比較を行なつた。又、試験の対象とした吊橋の剛性についての資料を得るために、静的な載荷試験を行なつている。

1.2 試験の方法

1.2.1 載荷方法

載荷の方法は以下の各種類のものを、試験の目的に応じて使いわけている。

I 起振機で励振する方法

図-1に示すように同軸に取りつけた不平衡重錘を、位相差0、又は π で逆方向に回転させて、水平方向及び鉛直方向の正弦波的な周期外力を発生させるもので、軸の回転数を変化させることにより起振力の振動数を、不平衡重錘の重さを変えることにより起振力の大きさを変えることが出来る。

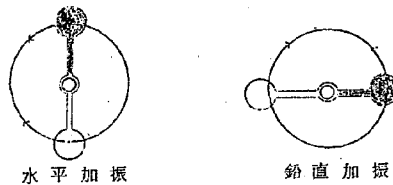


図 - 1

今回の試験に用いた起振機の起振力を図-2に示す。起振機の励振によつて行なう試験は、以下の3つである。

- (a) 共振曲線及び共振々動数の測定。
- (b) 共振波形の測定。
- (c) 減衰係数の測定。

II 重錘による載荷方法

この方法は補剛桁に吊り下げた重錘(約2 ton)を切り離し、吊橋に作用する外力を瞬間的に解放することにより吊橋に振動を与えようと云うもので、これによつて自由減衰振動を起して減衰定数が測定出来る。

III 重貨物自動車による載荷方法

これは補剛桁の静撓みの測定を目的として、補剛桁の1/2点

および $1/4$ 点への載荷々重として自動車を使う場合と、支間の $1/2$ 点及び $1/4$ 点において自動車の後輪を、高さ約 10 cm の位置から自由落下させ、吊橋に衝撃力を加えて振動せしめ、その記録から減衰係数を測定する2通りの載荷方法が試験目的に応じて採用出来る。

1.2.2. 測定の方法

i 共振々動数、共振曲線

小さい起振力を発生せしめるように重錘を取りつけた起振機を用いて、低回転から高回転に到る広い範囲にわたり加振して共振々動数を求める。共振々動数が大体判れば、重錘を重くし、起振力を増して共振々動数附近を細かく加振して、共振曲線を正確に描くための資料を求める。

ii 減衰係数

減衰係数は吊橋の共振曲線、起振機停止後の自由振動、重錘を切り落すことによつて生じる自由振動、及び重貨物自動車後輪の踏み板よりの自由落下による強制振動の記録から求める。

iii 共振波形

起振機により共振を誘起させ、加速度計を各格点ごとに移動させ共振々巾を測定して共振波形をえがく。この場合、共振波形は常に不変であると仮定し、振巾の補正のみをほどこすこととした。

IV 静的変位

載荷時の静的変位は格点毎の撓みをレベルで読みとつた。

1.2.3 記録の方法

実橋試験における吊橋の振動は補剛桁及び主塔上に取りつけた加速度計及び速度計により電氣的信号に変換され、これを電氣的に増巾してオシログラフに記録している。

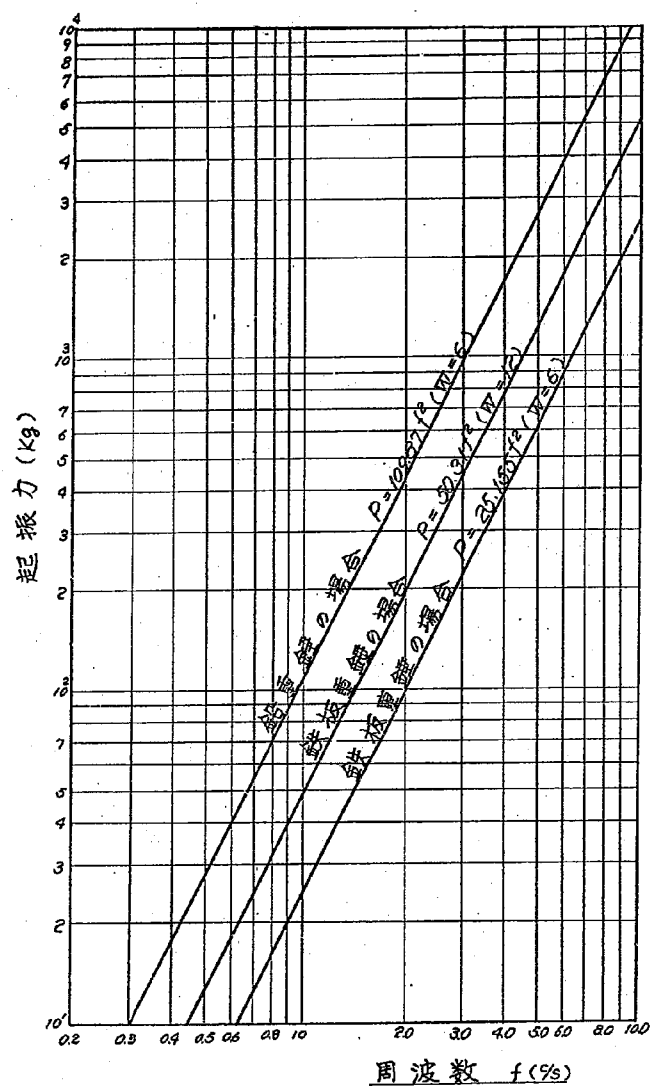


図-2 起振力図

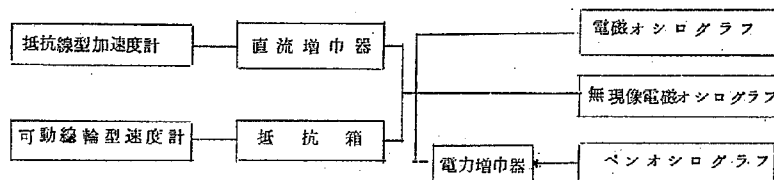


図 - 3 測定機器ブロック図

2. 試験の対象とした吊橋の諸元

2.1 設計基準

蕨原橋及び大峰橋の設計条件は表-1の通りである。

表-1 蕨原橋及び大峰橋の設計条件

	蕨 原 橋	大 峰 橋
橋長支間	136.0 m	121.8 m
有効巾員	2.5 m	3.0 m
T 荷 重	2.0 ton	T-9
L 荷 重		L-9
雪 荷 重	100.0 Kg/m ²	
群集荷重 { (主桁)	350.0 Kg/m ²	
(床版)	500.0 Kg/m ²	
風 荷 重		450 Kg/m
温 度 差		±15℃
地震荷重	K _H = 0.2	K _H = 0.2

2.2. 試験橋梁の諸元

両橋の諸元を表-2に示した。また、函原橋・設計図の一部を図4-1～図4-6に、大峰橋の設計図の一部を図5-1～図5-5に掲げた。

表-2 函原橋及び大峰橋の諸元

型 式	函 原 橋	大 峰 橋
	単径間補剛吊橋	単径間補剛吊橋
主塔間隔	137.6m	121.8m
支 間	136.0m	120.0m
垂 距	13.6m	12.0m
主構間隔	3.0m	4.0m
有効巾員	2.5m	3.0m
補剛型式	トラス補剛(下路)	トラス補剛(上路)
主 塔	ヒンジド・タワー	ヒンジド・タワー
死 荷 重	1114 t/m/cable	1270 t/m/cable
ケーブル断面積	0.0075m ² /cable	0.0069m ² (7×64φ)/cable
補剛桁断面 2次モーメント	0.0126m ⁴ /cable	0.0125m ⁴ /cable
桁 高	2.0 m	2.0 m
耐 風 索	有	有

图-4-1 窗原橋一般図

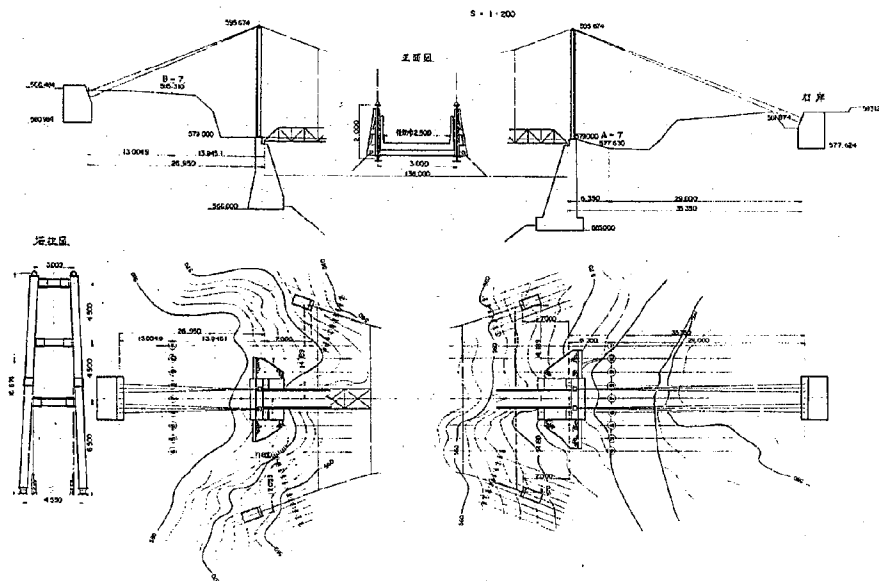
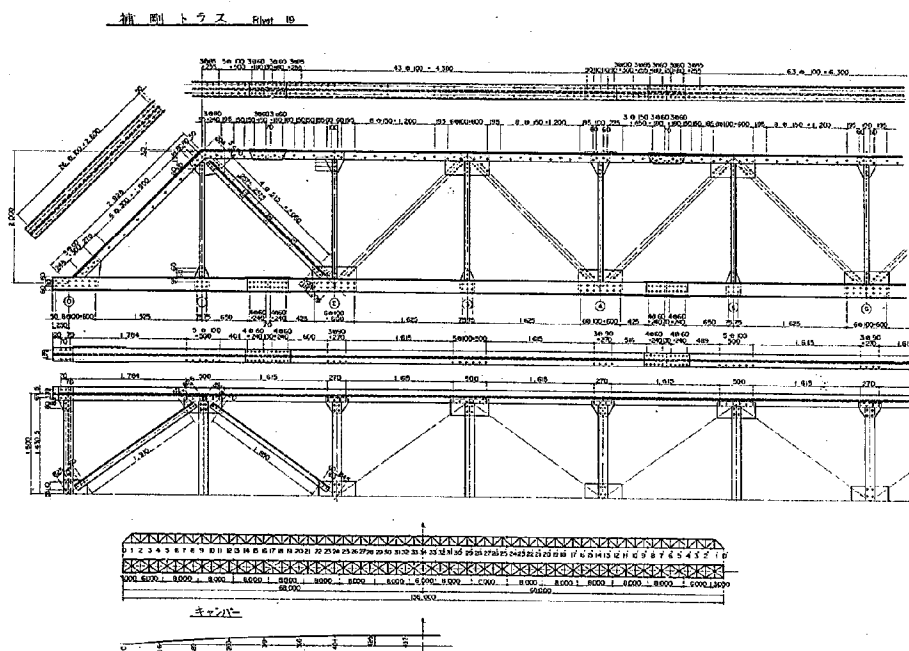


図-4-2 補鋼トラス



111



煉鋼史要覽				
年代	項目	數量	單位	備註
(1)	1918	1,500	187	8,841,000
(2)	1919	2,200	187	2,231,500
(3)	1920	4,000	218	2,122,460
(4)	1921	3,300	218	2,072,070
(5)	1922	3,000	218	2,072,070
(6)	1923	3,000	134	3,817,690
(7)	1924	4,000	170	3,546,400
(8)	1925	2,000	170	2,475,700
(9)	1926	4,000	68	2,822,660
(10)	1927	2,200	68	2,918,760
(11)	1928	1,500	94	5,113,390
(12)	1929	3,500	563	5,113,390
(13)	1930	1,265	293,282	3,900/480
2300 325				

図-4-4 ケーブル及び吊材

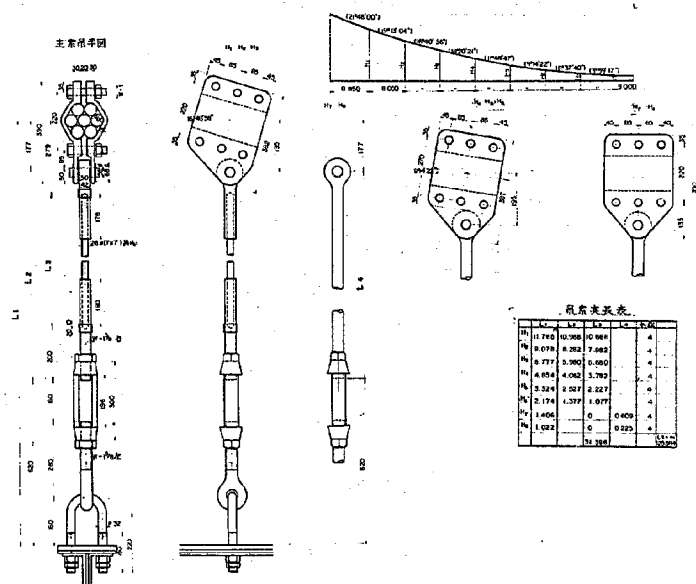


图-4-5 耐 風 索

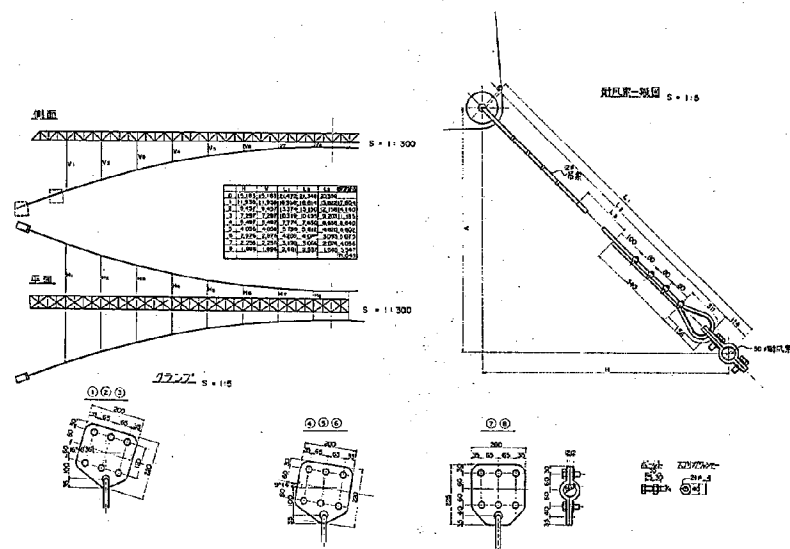


图-4-6 主 塔

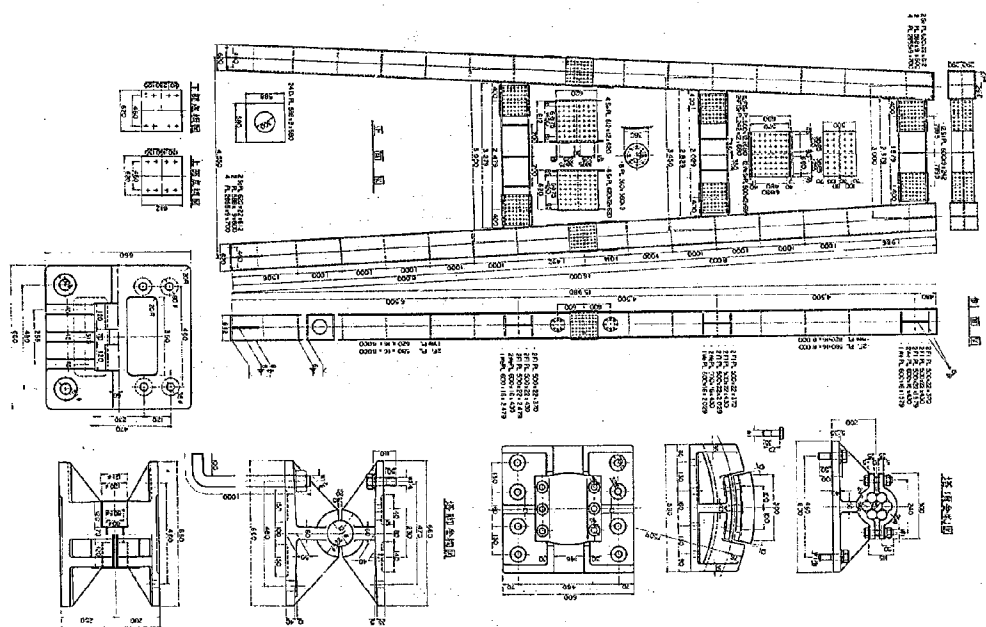


图-5-1 大峰桥一般图

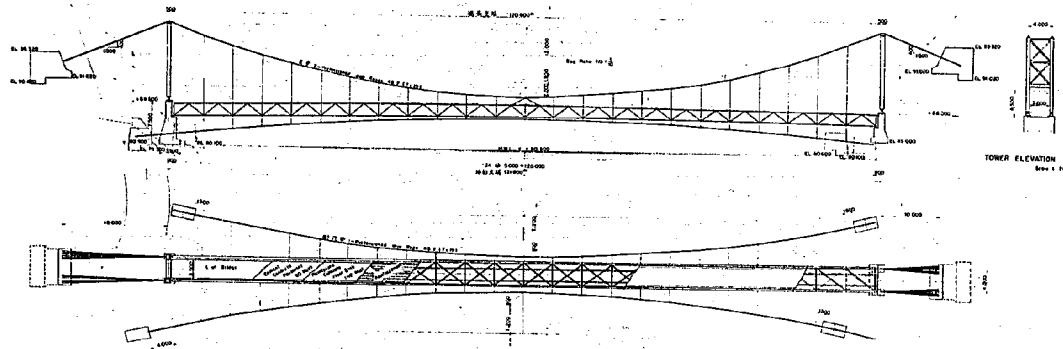


図-5-2 補鋼トラス

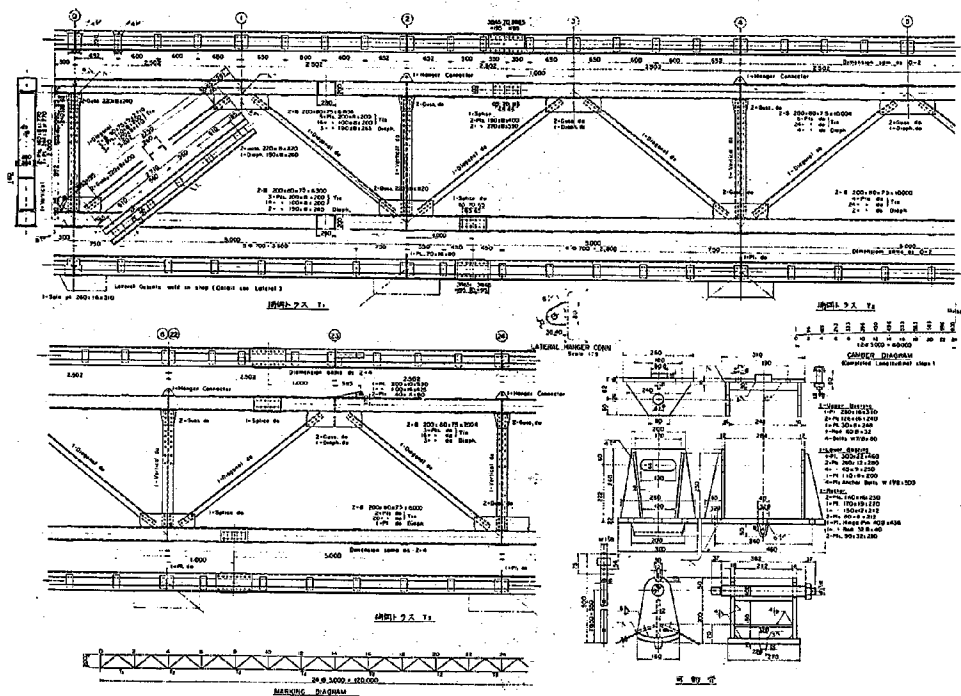
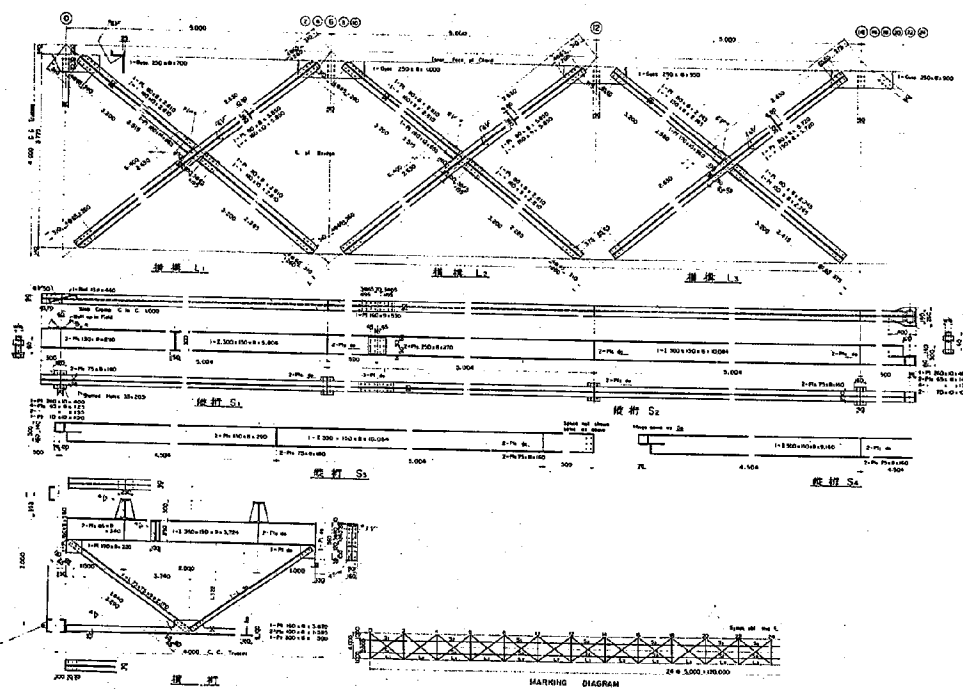
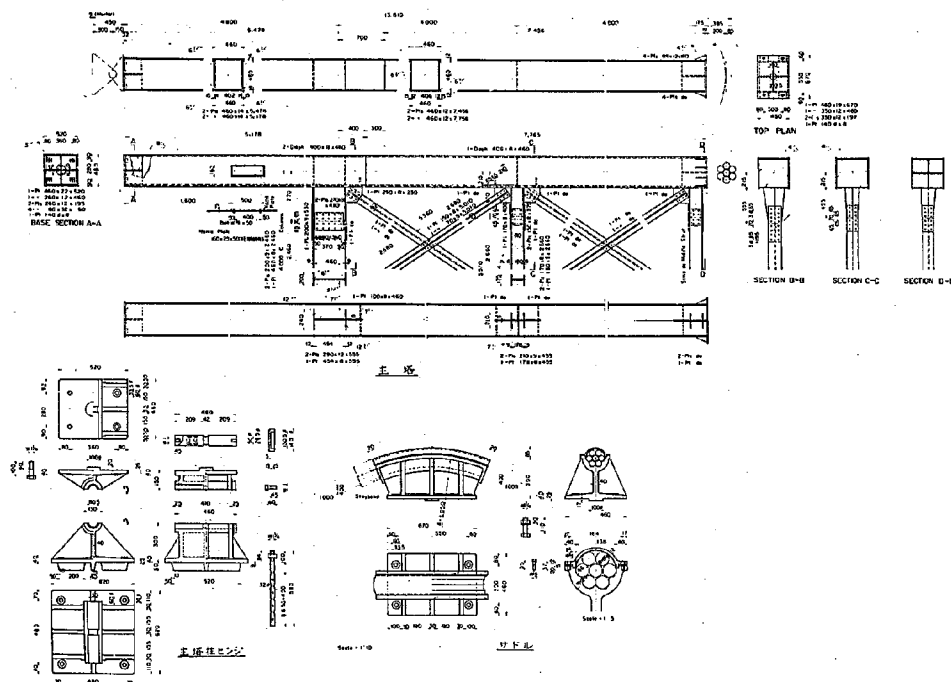


図-5-3 床組及び横櫓



图—5—5 主 塔



3. 試験の結果

3.1 菡原橋

3.1.1 共振曲線

図 6.1.1 図 6.5.2 に共振曲線を掲げる。図中の右肩に記した記号のうち、R は Resonance diagram の略、次の 1/2、1/4 は起振機取付位置、V、H は加振方向、次の 1/2、1/4、3/8、塔上は換振器の取付位置、加、速は換振器か加速度計か速度計かを示している。

3.1.2 振動波形

振動波形は 1.38、3.18 c/s の撓み振動が測定出来た。図 7.1、7.2 に得られた振動波形を示す。但し X 印が各格点における測定値である。

3.1.3 減衰係数

起振機および重錘、衝撃によつて得られた対数減衰率—波数曲線を図 8.1、8.2 に示す。

3.1.4 静的載荷試験

静的載荷試験から得られた撓み曲線を図 9 に示す。

3.2 大峰橋

3.2.1 共振曲線

図 10.1.1 図 10.9.2 に大峰橋の共振曲線を示す。図中右肩の記号は菡原橋の場合と同じだが最後の W. Q. W. O. C はそれぞれ with center stay、without center stay の意である。

3.2.2 振動波形

図 11.1.1 11.1.2 に実験から得られた振動波形を示す。

これらの振動波形はそれぞれ、1.64、3.85 c/s なる共振々動数に対応する振動波形である。

3.2.3. 減衰係数

起振機励振によつて得られた減衰係数を図12.1～12.4に示す、図中右肩の記号のDはDampingの意であり他は共振曲線の場合と同様である。なお、重錘及び衝撃による減衰試験は振動波形に高調波がかなり重ね合さつてゐるため対数減衰率が正確に求めることが出来なかつたのでここでは図示することを省略した。

3.2.4. 静的載荷試験

静的載荷試験によつて得られた撓み曲線を図13に示すこの場合に用いた載荷重量は7.91 tonである。

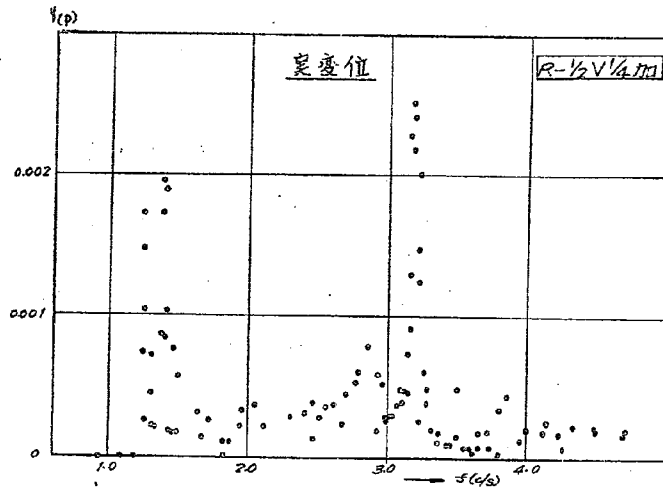


図-6-1-1 菌原橋共振曲線(その1)

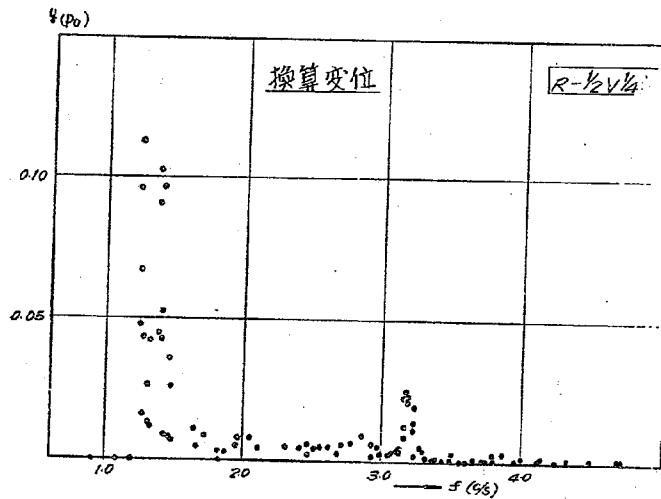


図-6-1-2 菌原橋共振曲線(その1)

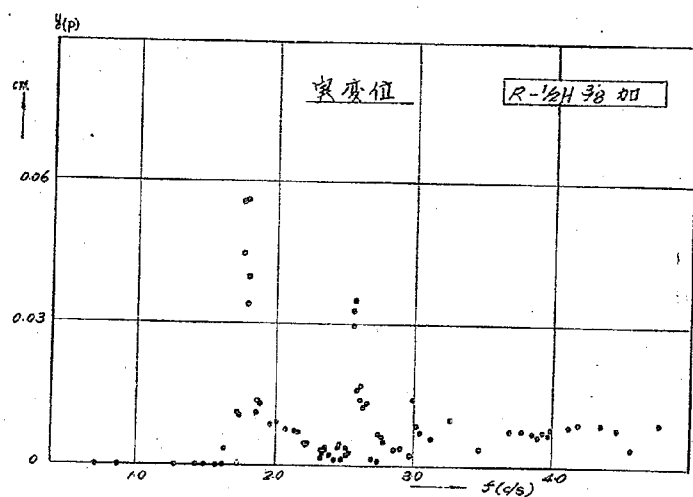


図-6-2-1 蘭原橋共振曲線 (その2)

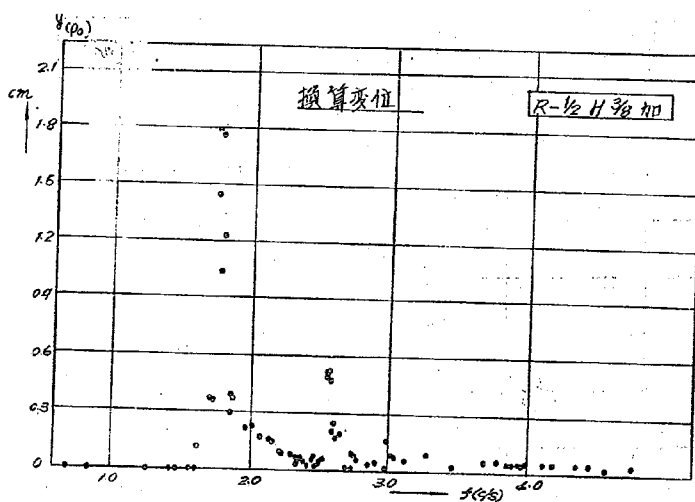


図-6-2-2 蘭原橋共振曲線 (その2)

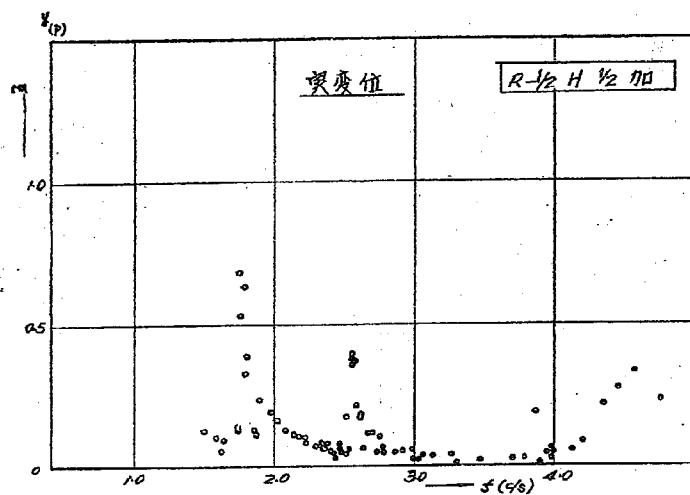


図-6-3-1 菌原橋共振曲線 (その3.)

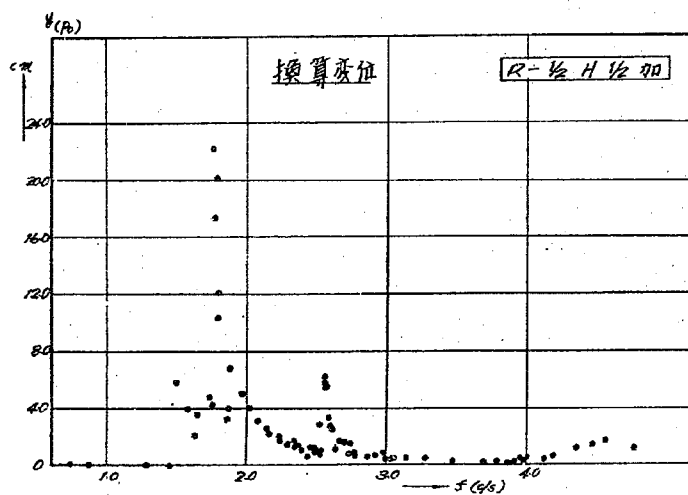


図-6-3-2 菌原橋共振曲線 (その3)

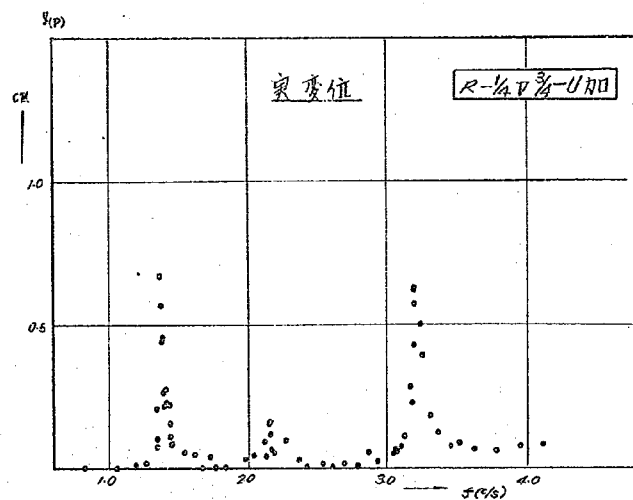


図-6-4-1 蕨原橋共振曲線 (その4)

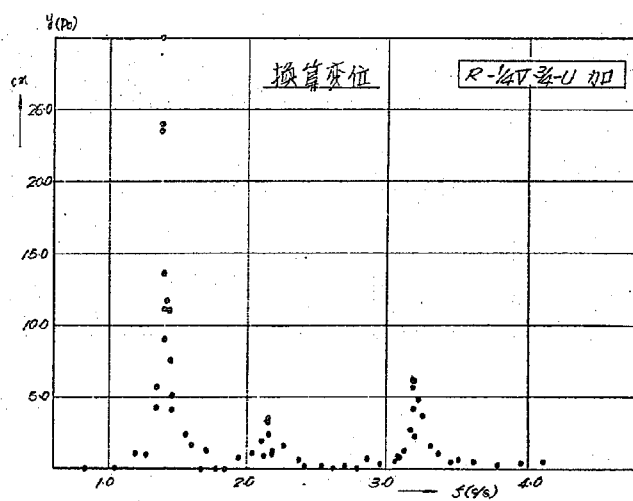


図-6-4-2 蕨原橋共振曲線 (その4)

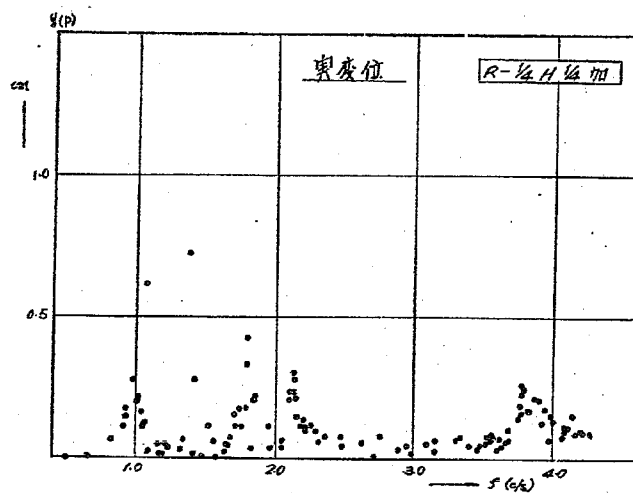


図-6-5-1 蘭原橋共振曲線 (その5)

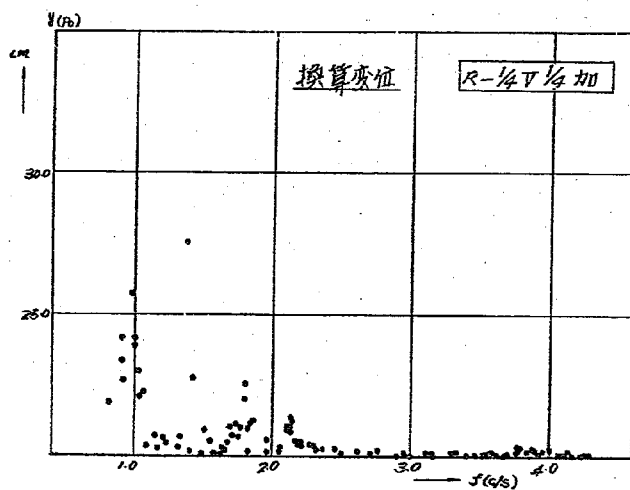


図-6-5-2 蘭原橋共振曲線 (その5)

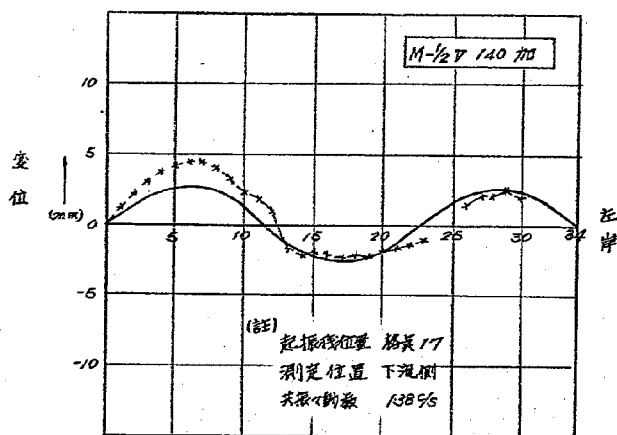


圖-7-1 蘭原橋共振派型

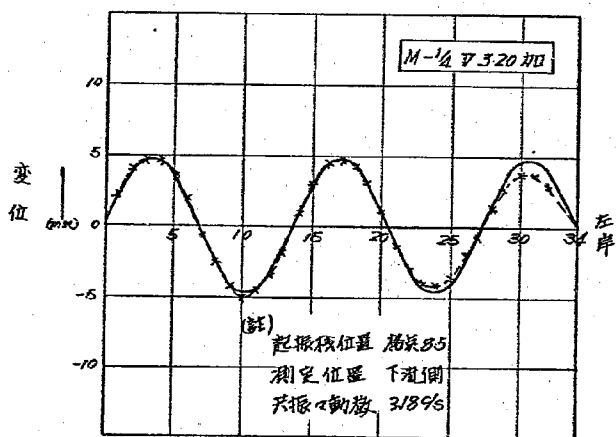


圖-7-2 蘭原橋共振波型

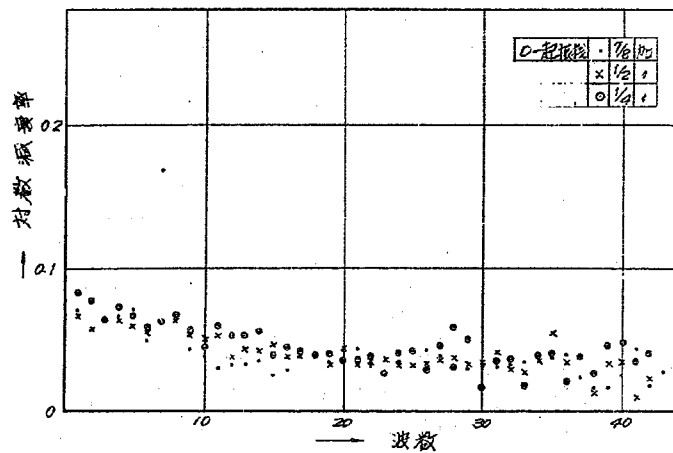


図-8-1 菌原橋減衰係数

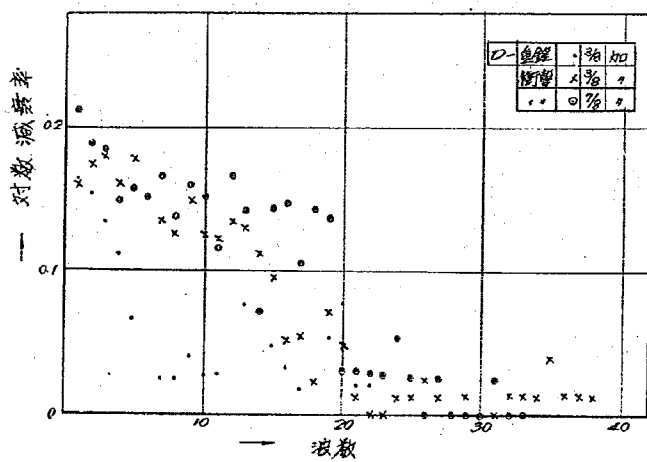


図-8-2 菌原橋減衰係数

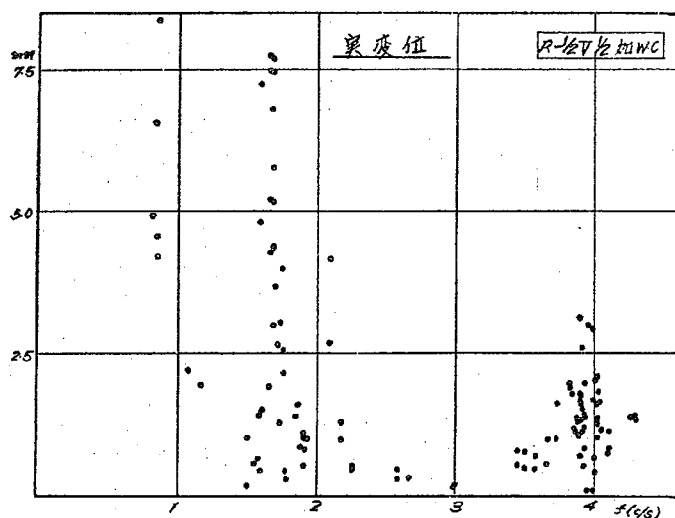


図-10-1-1 大峰橋共振曲線 (その1)

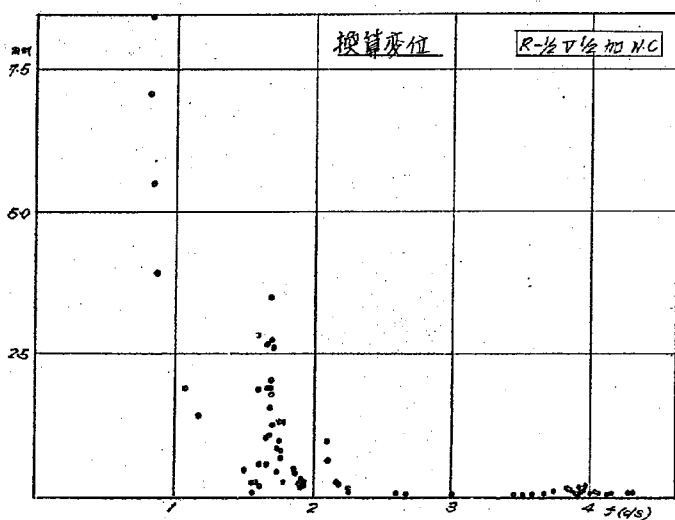


図-10-1-2 大峰橋共振曲線 (その1)

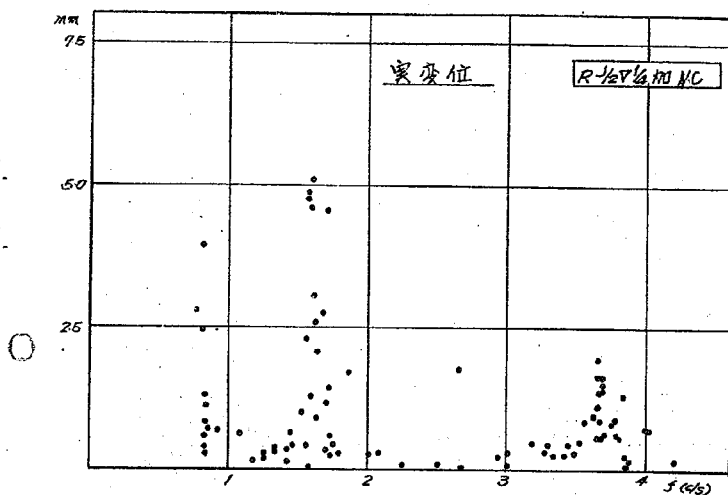


図-10-2-1 大峰橋共振曲線 (その2)

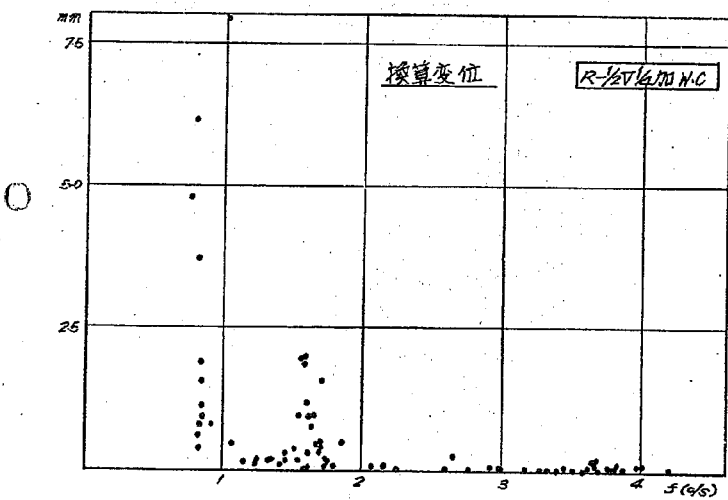


図-10-2-2 大峰橋共振曲線 (その2)

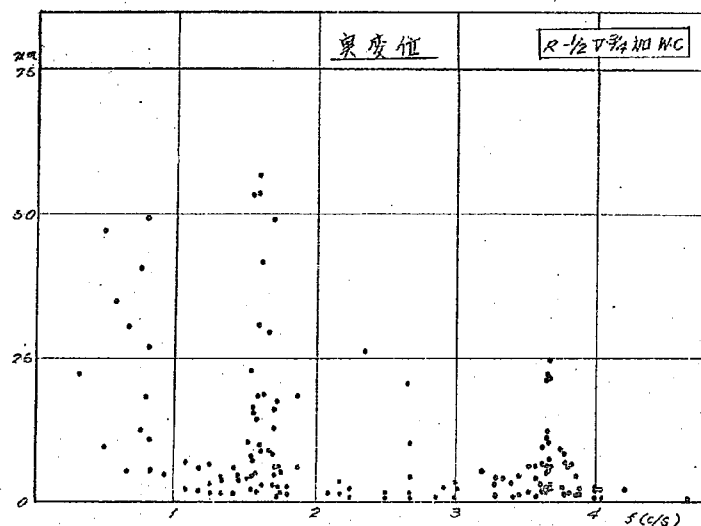


図-10-9-1 大峰橋共振曲線 (その9)

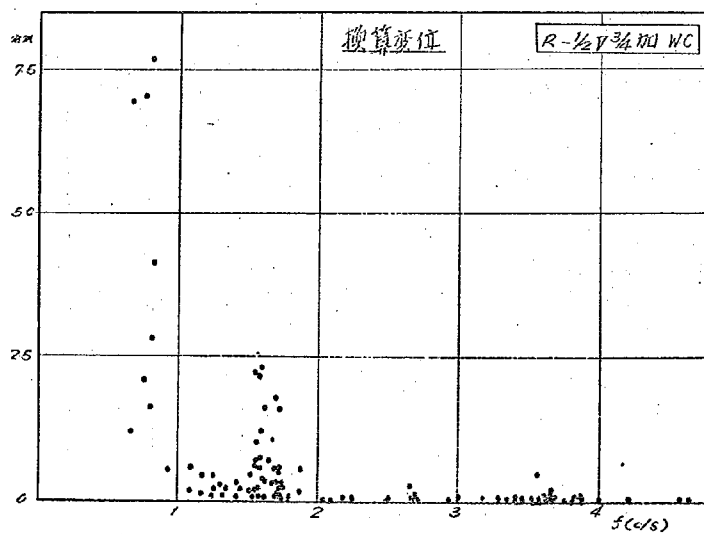


図-10-9-2 大峰橋共振曲線 (その9)

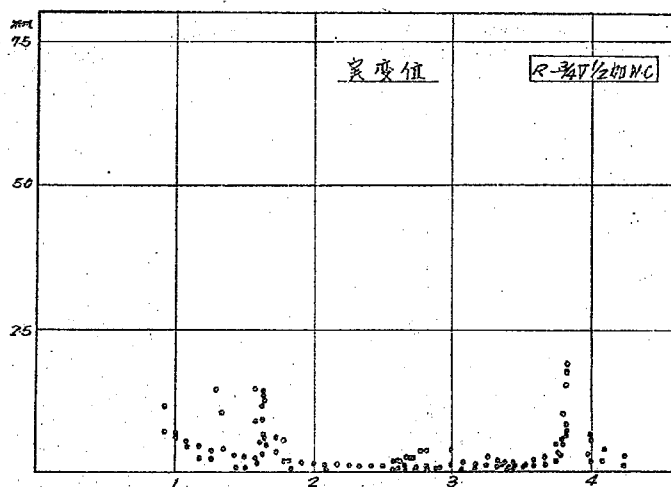


図-10-3-1 大峰橋共振曲線 (その3)

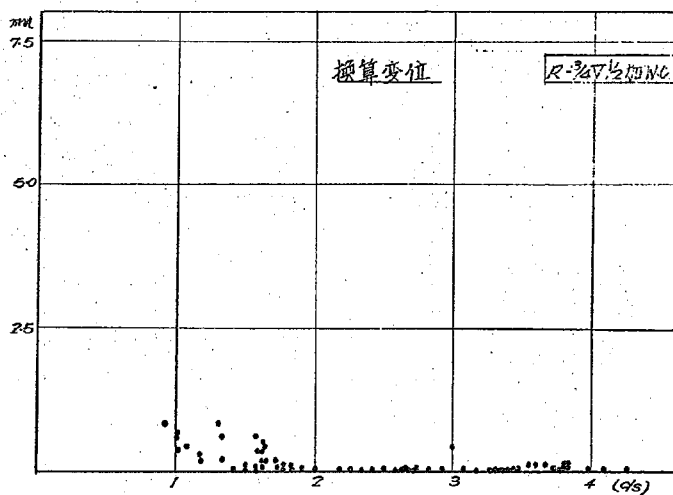


図-10-3-2 大峰橋共振曲線 (その3)

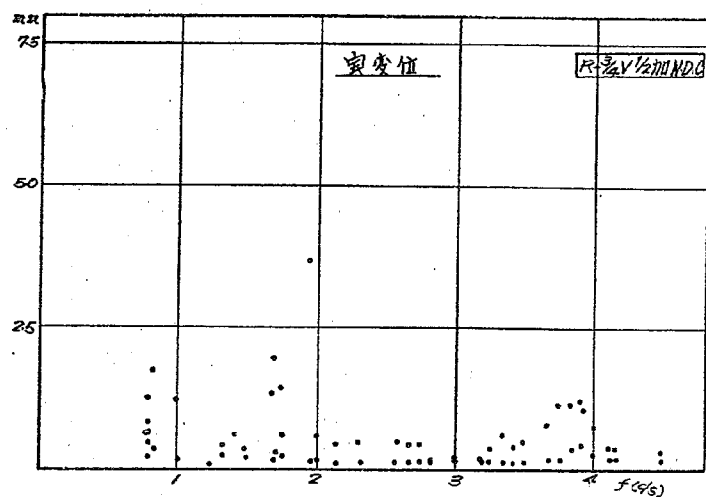


図-10-5-1 大峰橋共振曲線(その5)

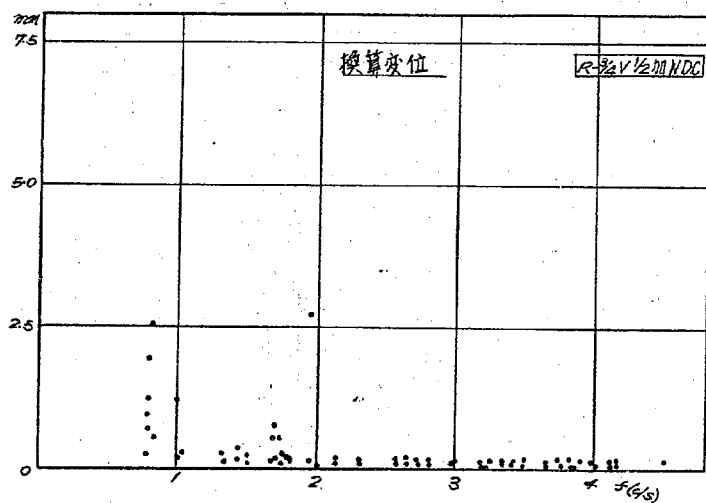


図-10-5-2 大峰橋共振曲線(その5)

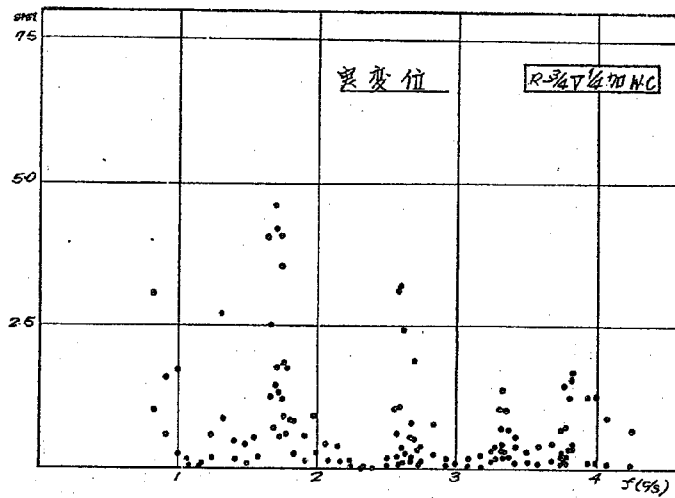


図-10-4-1 大峰橋共振曲線 (その4)

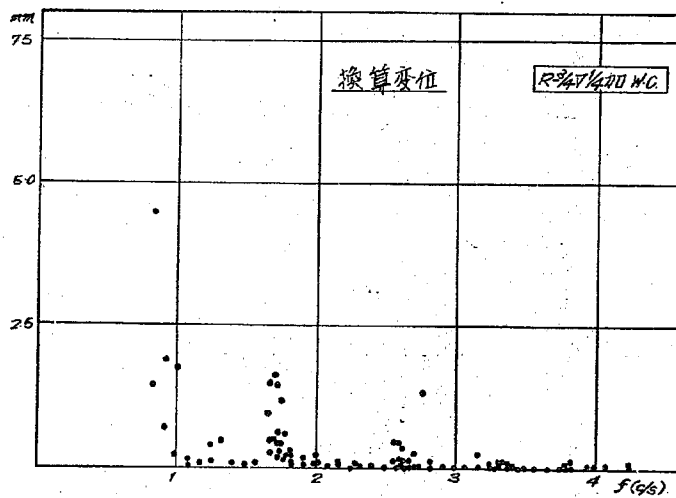


図-10-4-2 大峰橋共振曲線 (その4)

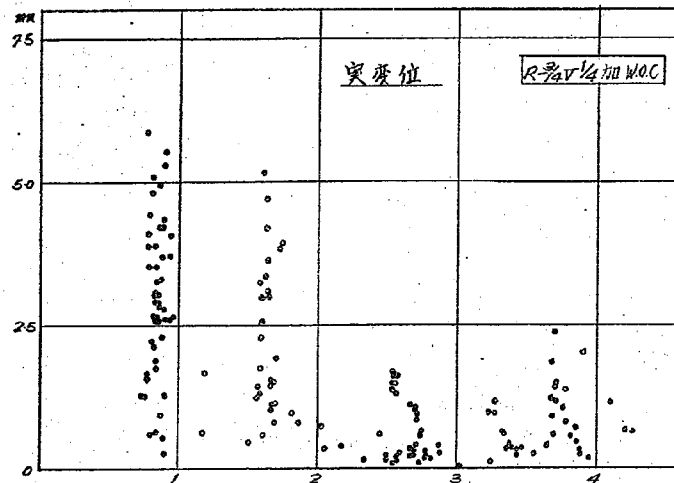


図-10-6-1 大峰橋共振曲線 (その6)

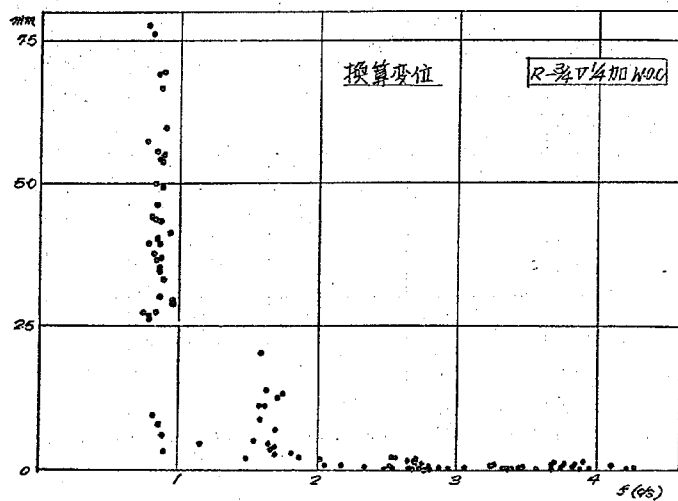


図-10-6-2 大峰橋共振曲線 (その6)

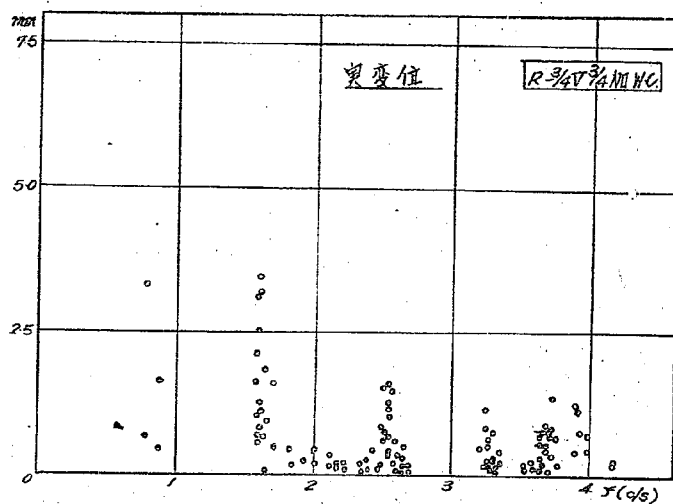


図-10-8-1 大峰橋共振曲線 (その 8)

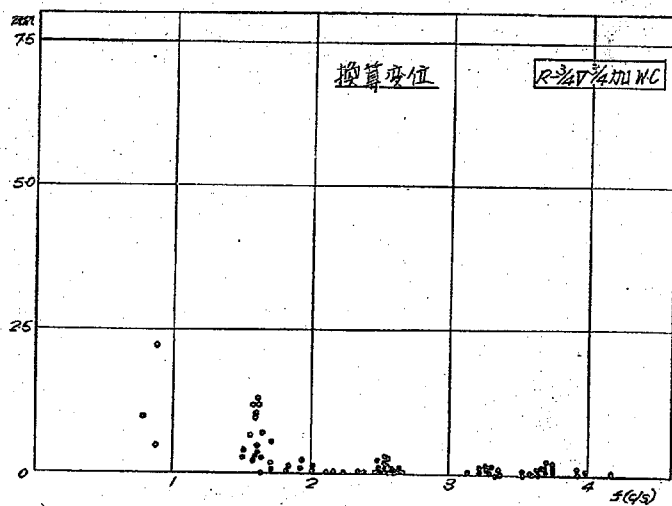


図-10-8-2 大峰橋共振曲線 (その 8)

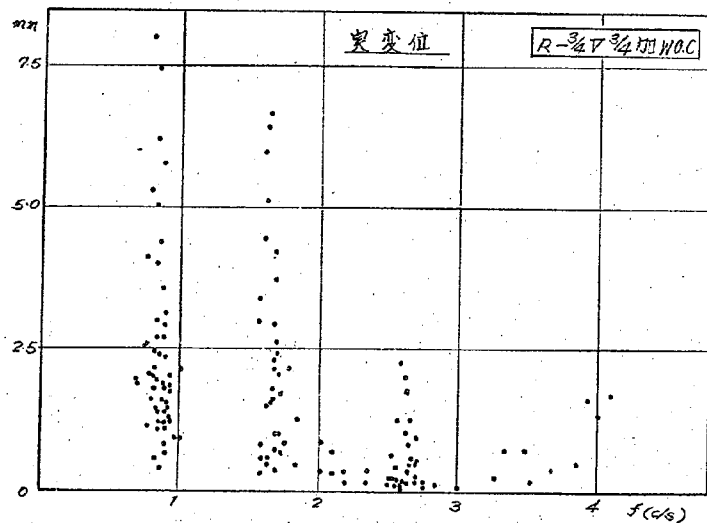


図-10-7-1 大峰橋共振曲線 (その 7)

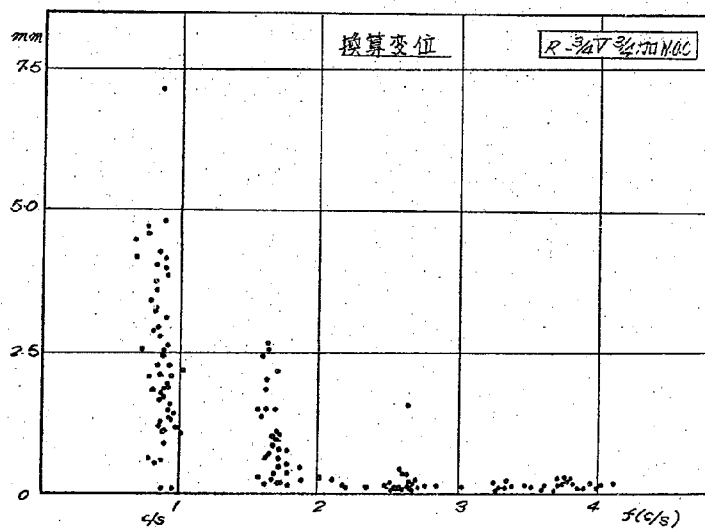
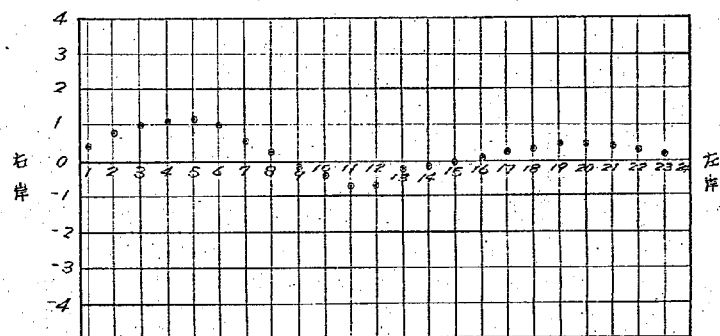
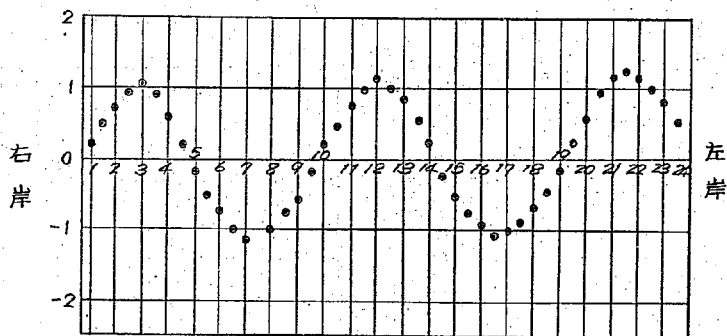


図-10-7-2 大峰橋共振曲線 (その 7)



測定番号

図-11-1 大峰橋共振波形



測定番号

図-11-2 大峰橋共振波形

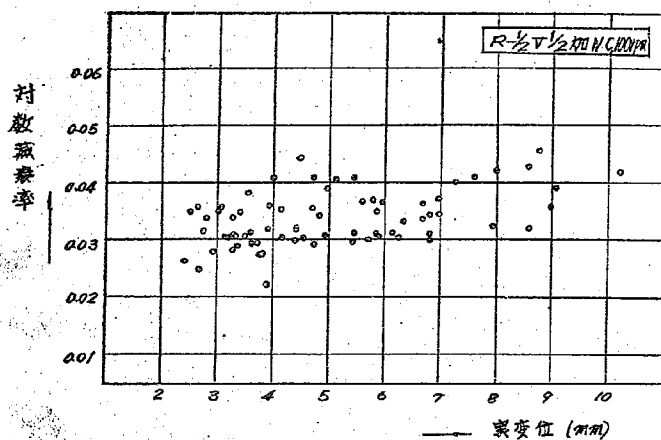


图-12-1 大峰橋減衰係數

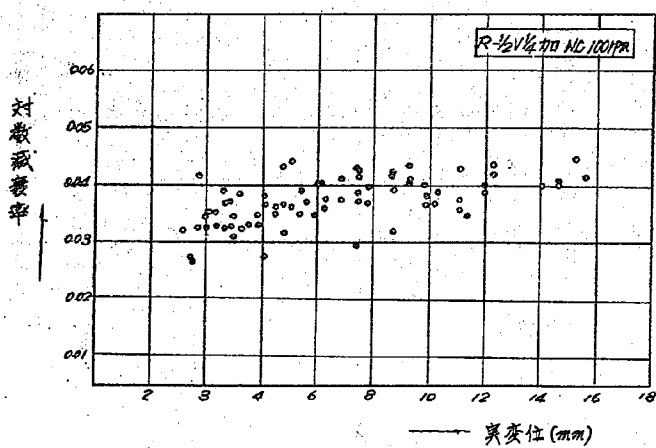


图-12-2 大峰橋減衰係數

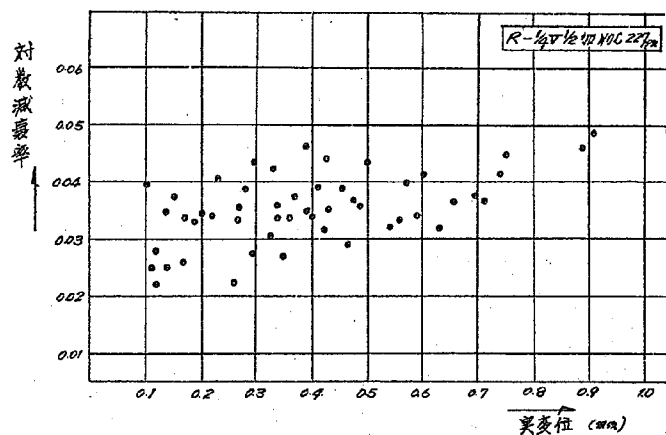


图-12-3 大峰桥衰减系数

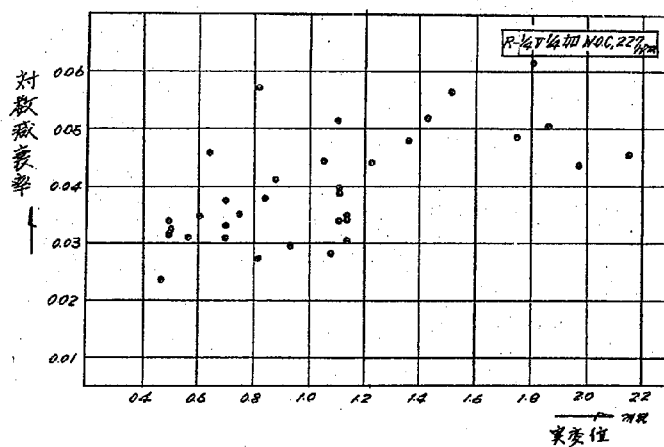


图-12-4 大峰桥衰减系数

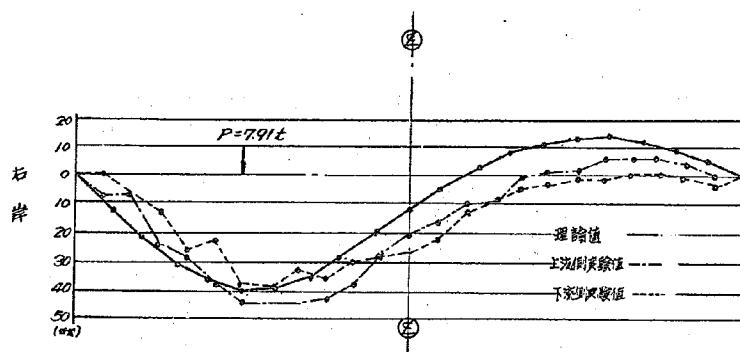
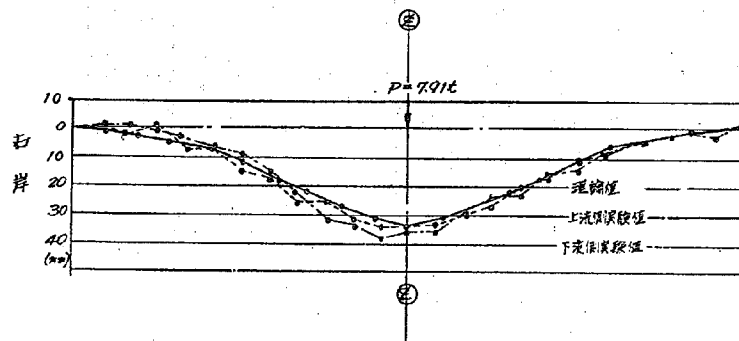


図-13-1 1/4点載荷時の撓み曲線



4. 理論値との比較および結果に対する考慮

4.1 概 要

実橋試験はその橋がおかれている地理的条件、実橋の固有の特性、実験に用いる機器の制約、実験の際の時間的制限、自然条件等に影響されて満足のいく実験は行い難い。しかしながら、実際の吊橋には模型化できない特性や理論な取扱いにおいて考慮しえない因子が多く、従つて上述のような欠点を有しながらも実橋試験は吊橋の特性を探るための有力な方法である。従つて本実験で得られた結果もその一つ一つを取りあげて見れば多小の問題点を含んでいるが、しかしそれなりに貴重な資料といえるであろう。以下に実験結果についてのべる。

4.2 共振波形

図7.1及び図7.2に示した実線は菟原橋の対称2次及び対称3次の振動波形の理論値を示している。この結果と実測値とを比較してみると以下のことが考えられる。

1. 起振機位置の影響はないものと思はれる。
2. 観測された対称2次の振動波形は左右対称になつていないがこれは振動波形を測定したときに吊橋の振動が完全に定常状態になつていないためと思はれる。
3. 対称3次の振動波形は菟原橋の場合理論値と非常によく一致しており大峰橋・振動波形も対称2次のものにくらべ非常に安定している。これは対称2次の場合に比べ振動のエネルギーが大きく、従つて他のケーブル、耐風索と云つた2次的な振動系に波形を乱されずに安定した振動波形を保ち得るためと考えられる。

以上のように対称3次の振動波形については理論値の妥当性が確認できたが対称2次の振動波形については実験の正確度その他の点に問題があり、理論値の検証をすることは出来なかつた。しかし対称3次の振動波形における結果からみて、充分注意深い実験を行えば理論値

との適合度もかなりよくなるものと考えられる。

4.3 固有振動数

表-3 に共振曲線から求めた固有振動数の実測値と理論値とを示した。理論値はエネルギー式をRitzの方法で解いて求めたが、このRitzの方法についてはよく知られているのでここではその説明を省く。得られた結果について考察してみるといづれも実験値の方が大きな値を示しており、特に低次のものに著しい。これは主として床版等が吊橋桁の剛性に寄与しているためではないかと考えられるが真の原因について断言しうる資料は得られていない。しかし、一般的にみて理論値はかなりの精度で現象を説明しうると云えよう。

表-3 固有振動数の実測値と理論値

橋 名		函 原 橋		大 峰 橋	
モ ー ド		実 測 値	理 論 値	実 測 値	理 論 値
対 称	一 次	—	0.20	0.78	0.75
	二 次	1.38	1.30	1.61	1.50
	三 次	3.20	3.42	3.83	3.97
逆 対 称	一 次	—	0.61	—	0.70
	二 次	2.16	2.22	2.62	2.27

なお、center stay の効果を調べるために大峰橋では1点加振時に center stay を取りはずしてみたがその効果は明らかではなかった。これは本実験においてあらわれた逆対称振動の振巾が非常に小さかつたためではないかと思はれる。

実験から求めた共振曲線は測定値がかなりばらついていることを示している。これは吊橋の共振点近傍において主ケーブル及び耐風索の横ゆれ等が卓越して実験値を乱しているものと考えられる。

4.4 構造減衰

構造減衰については理論値は現在のところありえない

。従つてここでは実測値を検討してみた結果を以下に記す。

- 1 函原橋における構造減衰は対数減衰率で0.03～0.08である。

重鉋及び衝撃による実験で非常に減衰が大きな場合があるか、これは不規則な高調波の急激な減衰によるものと考えられる。

- 2 大峰橋の構造減衰は対数減衰率で0.025～0.04と考えられる。
大峰橋の実験結果から見れば振動数は構造減衰の大きさにあまり影響を与えない。

- 3 構造減衰は振巾が大きいほど大きい。

函原、大峰両吊橋から得られた結果は過去における実験結果と大巾に異なるものではないか、大峰橋の実測値は一般に吊橋の構造減衰として提案されている対数減衰率で0.05と云う値に較べ少し小さい。

4.5 載荷試験

函原橋での載荷点における撓みの理論値を図-9に、大峰橋での撓みの理論曲線を図-13に示した。理論値はいずれもPeeryの影響線法によつて計算したものである。大峰橋の撓み曲線を検討してみると対称変形の場合には理論値と非常によく一致しているか非対称変形の場合には多量の差量を示している。この原因としてはコンクリート床版の荷重分配への寄与及び耐風索の作用等も考えられるがその他にcenter stayの効果等も考えられよう。

5. むすび

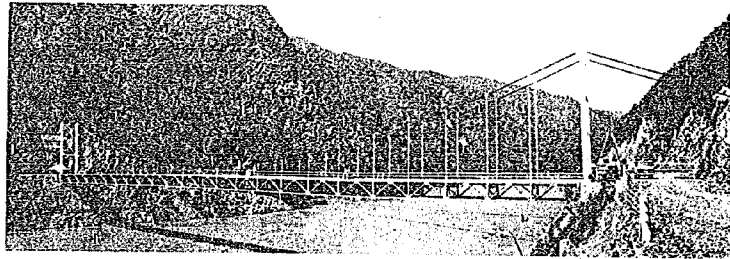
以上に今回の実験で求めた結果を示したが、もちろんこれで実橋試験の目的を達した訳ではない。更に実験を重ねてゆく必要がある。特に今までに行なわれた実橋についての実験例をみても振れ振動の振動特性を計測

した例がない。従つて今後は起振方法を改良して振れ振動の特性を調べたいと思つてゐる。

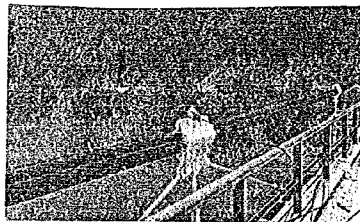
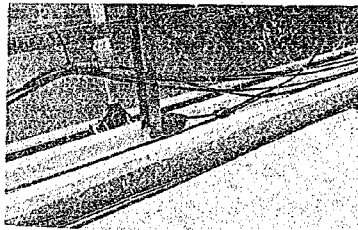
なお、本実験に際しては関東地建函原ダム工事務所及び近畿地建天ヶ瀬ダム管理事務所から種々の便宜をはかつていただいた。

また、大峰橋の実験の際には同橋の架設にあたつた日本鋼管株式会社から、函原橋の実験の際には同じく東鋼橋梁株式会社から実験準備作業につき協力があつた。

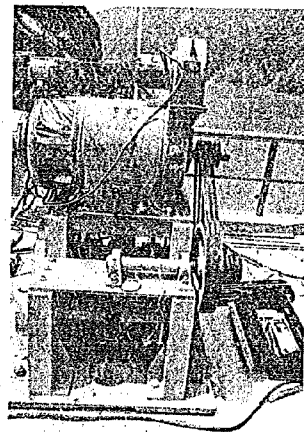
ここに附記して謝意を表する。



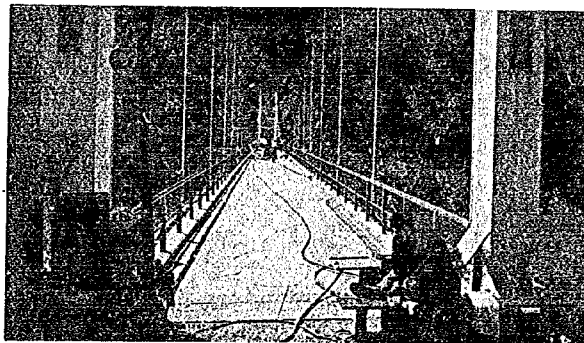
大峰橋全景



加速度計



起振機



実験写真

追 記

Ritz の方法による吊橋の固有振動数の計算は方法的にはよく知られてい
るが実際に計算を行なう場合にはかなり複雑なのでとくに主径間吊橋の固有
振動数計算のプログラムを附記しておく。

なお、input data は次の順序である。

L :	主径間長	m
L ₁ :	側径間長	m
F :	主径間重距	m
W :	全死荷重 (主径間)	ton/m/bridge
W ₁ :	全死荷重 (側径間)	ton/m/bridge
W _C :	ケーブル死荷重	ton/m/bridge
W _{SR} :	床組床版重量	ton/m/bridge
W _{ST} :	補剛構重量	ton/m/bridge
AC :	ケーブル断面積	m ² /bridge
A :	弦材断面積	m ² /one chord
AV :	斜材断面積	m ² /one diagonal
AH :	横構断面積	m ² /onl. lateral
PN :	主構格間長	m
B :	主構間隔	m
DEP :	主構高	m
C :	横構格間長	m

```

begin comment EIGEN#FREQUENCY#OF#3-SPAN#SUSPENSION#BRIDGE:
real AA,BB,CC,A3,B3,C3,D3,A4,B4,C4,D4,L,L1,LE,F,F1,W,U1,VC,US,VST,USR,
DEP,B,P,ALFA,BETA,
GAMMA,S,LAMDA,K,HV1,SS,LGAMMA,KK,RR,XB1,XB2,XB3,
XXB1,XXB2,XXB3,NFB1,NFB2,NFB3,PERB1,PERB2,PERB3,
XT1,XT2,XT3,XTT1,XTT2,XTT3,NFT1,NFT2,NFT3,PERT1,PERT2,
PERT3,AMP1,AMP2,AMPB13,AMPB33,AMPB12,AMPB32,
AMPT13,AMPT33,AMPT12,AMPT32,DO,DE,DF,ED,EE,EF,
C,PN,MV,MH,BE,EV,EH,Y,MH,DR,AC,A,A1,AV,AV1,
array XA(1:3); procedure EQUAT3(AA,BB,CC,XA):
value AA,BB,CC: real AA,BB,CC: array XA:
begin real A1,A2,C11,V,T,F1,R,G1,G2,PP,Q,D,WV,EPS:
EPS:=0:
if CC=0.0 then begin XA(1)=0.0: PP=AA/2.0: Q=BB: go to QU end
else if CC>0.0 then begin A1=-1.0*AA: C11=-1.0*CC end
else begin A1=AA: C11=CC end:
YAM:
V=EXP(LN(-1.0*C11)/3.0): T=A1*V+BB:
if T>0.0 then begin F1=BB-0.5625*V12:
R=ABS(F12+3.875*C11*(A1+1.5*V)):
XA(1)=(-1.0*F1+SQRT(R))/(A1+1.5*V)/2.0
end
else if T<0.0 then begin F1=A1+0.5625*V: R=ABS(F12-(BB-1.5*V12)*3.875):
XA(1)=(-1.0*F1+SQRT(R))/1.9375
end
else XA(1)=V:
if CC>0.0 then XA(1)=-1.0*XA(1):
NEWTON:
G1=((AA+XA(1))*XA(1)+BB)*XA(1)+CC:
G2=(2.0*AA+3.0*XA(1))*XA(1)+BB:
XA(2)=XA(1)-G1/G2:
XA(3)=ABS((XA(2)-XA(1))/XA(1)):
XA(1)=XA(2):
if XA(3)>EPS then go to NEWTON:
PP=AA+XA(1):
Q=BB+PP*XA(1):
PP=PP/2.0:
QU:
D=PP*PP-Q:
if DE=0.0 then begin WV=SQRT(D):
XA(2)=-1.0*PP+WV: XA(3)=-1.0*PP-WV:
PRINT('3/'):
PRINT('1008' REAL#SOLUTION**)
end
else begin PRINT('3/'): PRINT('608'IMAGINALLY#SOLUTION'): go to END end
end:
READ(L,L1,F,U,U1,VC,USR,VST,AC,A,A1,AV,AV1,PN,BR,B,DEP,C):
FI=F*(U1/U)*(L1/L)12:

```

```

LE=L*(0.25*(2.5+16.0*(F/L)^2)*SQRT(1.0+16.0*(F/L)^2)+3.0
AL/(64.0*F)*LN((SQRT(1.0+16.0*(F/L)^2)+4.0*F/L)/
(SQRT(1.0+16.0*(F/L)^2)-4.0*F/L)))
+2.0*L1*(0.25*(2.5+16.0*(F1/L1)^2)*SQRT(1.0+16.0*(F1/L1)^2)
+3.0*L1/(64.0*F1)*LN((SQRT(1.0+16.0*(F1/L1)^2)+4.0*F1/L1)/
(SQRT(1.0+16.0*(F1/L1)^2)-4.0*F1/L1)))
P=3.1416*L*LE/(16.0*F*2.0*10.017*AC);
ALFA=L/L1;
BETA=V1/V;
GAMMA=A1/A;
S=V*L12/(9.8*3.141612);
LAMDA=3.141612*2.1*10.017*A*DEP^2/L12;
K=32.0*F/3.141613;
HW1=L12/(9.0*F);
DD=LAMDA*HW1;
DE=81.0*LAMDA+9.0*HW1;
DF=GAMMA*LAMDA/ALFA12+HW1;
A3=9.0*P*ALFA12*BETA*S13/K;
B3=(9.0*P*(ALFA12*BETA*(DD+DE)+DF)/K+10.0*ALFA12*BETA+18.0*ALFA13*BETA12)*S12;
C3=-1.0*(9.0*P*(ALFA12*BETA*DD+DE*(DD+DE)+DF)/K+9.0*(ALFA12*BETA*DE+DF)+ALFA12*BETA*DD
+DF+18.0*ALFA13*BETA12*(DD+DE))*S;
D3=9.0*P*DD*DE*DF/K+9.0*DE*DF+DD*DF+18.0*ALFA13*BETA12*DD*DE;
AA=B3/A3; BB=C3/A3; CC=D3/A3; US=VST+USR;
PRINT('1');
PRINT('2/3B' CALCULATION OF EIGEN FREQUENCY OF SUSPENSION BRIDGE '2/');
PRINT('5B' DIMENSION OF SUSPENSION BRIDGE '1');
PRINT('2/');
PRINT('10B' LENGTH OF MAIN SPAN.....'2B-42.109B'M.'2/,'L1);
PRINT('10B' LENGTH OF SIDE SPAN.....'2B-42.109B'M.'2/,'L1);
PRINT('10B' CABLE SAG IN MAIN SPAN.....'3B-32.208B'M.'2/,'F1);
PRINT('10B' CABLE SAG IN SIDE SPAN.....'3B-32.208B'M.'2/,'F1);
PRINT('10B' CROSS-SECTIONAL AREA OF THE CABLE.....'5B-12.307B'M.'2/,'AC);
PRINT('10B' DISTANCE OF STIFFENING GIRDERS.....'4B-22.208B'M.'2/,'B);
PRINT('10B' DEPTH OF STIFFENING TRUSS.....'4B-22.208B'M.'2/,'DEP);
PRINT('10B' DEAD WEIGHT OF SUSPENSION BRIDGE (IN MAIN SPAN).....'4B-22.307B' TON/M./BRIDGE '2/,'W);
PRINT('10B' DEAD WEIGHT OF THE CABLE.....'4B-22.307B' TON/M./BRIDGE '2/,'UC);
PRINT('10B' DEAD WEIGHT OF SUSPENDED STRUCTURE.....'4B-22.307B' TON/M./BRIDGE '2/,'US);
PRINT('10B' DEAD WEIGHT OF SUSPENSION BRIDGE (IN SIDE SPAN).....'4B-22.307B' TON/M./BRIDGE '2/,'V1);
PRINT('10B' HORIZONTAL COMPONENT OF CABLE TENSIONS.....'B-52.208B' TON/BRIDGE '2/,'HW1);
PRINT('1');
PRINT('5/');
PRINT('6B' VERTICAL VIBRATION '');
EQUAT3(AA,BB,CC,XX);
XB2=9.8*3.141612*4.0*(HW1+4.0*LAMDA)/(V*L12);
IF XA(1)<XA(2) AND XA(1)<XA(3) AND XA(2)<XA(3) THEN
  BEGIN
    XB1=XA(1); XB3=XA(2)
  END;
IF XA(1)<XA(2) AND XA(1)<XA(3) AND XA(3)<XA(2) THEN
  BEGIN
    XB1=XA(1); XB3=XA(3)
  END;
IF XA(2)<XA(1) AND XA(2)<XA(3) AND XA(1)<XA(3) THEN
  BEGIN
    XB1=XA(2); XB3=XA(1)
  END;
IF XA(2)<XA(1) AND XA(2)<XA(3) AND XA(3)<XA(1) THEN
  BEGIN

```

```

      XB1=XA(2); XB3=XA(3)
    end
    if XA(3)<XA(1)AXA(3)<XA(2)AXA(1)<XA(2) then
    begin
      XB1=XA(3); XB3=XA(1)
    end
    if XA(3)<XA(1)AXA(3)<XA(2)AXA(2)<XA(1) then
    begin
      XB1=XA(3); XB3=XA(2)
    end
    XKB1=SQR(XB1); NFB1=XB1/6,2832; PERB1=1.0/NFB1;
    XKB2=SQR(XB2); NFB2=XB2/6,2832; PERB2=1.0/NFB2;
    XKB3=SQR(XB3); NFB3=XB3/6,2832; PERB3=1.0/NFB3;
    AMP1=1.000000; AMP2=0.0;
    AMPB13=(S*XB1-DD)/(3.0*(S*XB1-DE));
    AMPB33=(S*XB3-DD)/(3.0*(S*XB3-DE));
    AMPB12=ALFA12*BETA*(S*XB1-DD)/(ALFA12*BETA*S*XB1-DF);
    AMPB32=ALFA12*BETA*(S*XB3-DD)/(ALFA12*BETA*S*XB3-DF);
    PRINT('3/');
    PRINT('44B'FREQUENCY#AND#PERIOD'23B'MODE#OF#VIBRATION'2/');
    PRINT('37B'GTC.FREQ.'3B'NATU.FREQ.'3B'PERIOD'13B'MAIN*SPAN'12B'SIDE*SPAN'2/');
    PRINT('18B'1ST#MODE'11B-12.603B,-12.603B,-22.409B,-12.403B,-12.509B,-12.50',XKB1,
      NFB1,PERB1,AMP1,AMPB13,AMPB12);
    PRINT('2/');
    PRINT('18B'2ND#MODE'11B-12.603B,-12.603B,-22.409B,-12.403B,-12.1013B,-12.10',XKB2,NFB2,PERB2,
      AMP1,AMP2,AMP2);
    PRINT('2/');
    PRINT('18B'3RD#MODE'11B-12.603B,-12.603B,-22.409B,-12.403B,-12.509B,-12.50',XKB3,NFB3,PERB3,
      AMP1,AMPB33,AMPB32);
    NV=(SQR(DEP12+PH12))/3/(DEP12*PH1);
    NH=(SQR(B12+C12))/3/(B12*C12);
    BE=B*DEP/(NUV*DEP12/AV+NH*B12/AH);
    EV=0.5*B-NV*BE*DEP/AV;
    EH=0.5*DEP-NH*BE*B/AH;
    Y=0.5*A*(DEP12*EV12+B12*EH12);
    ME=USR*(C0,4DEP)*24BR12/12.0)/9,84VST*(C0,35*B)/2/9,84VC*B12/4,0*9,8);
    SS=HE*1/4,0;
    LGAMMA=2,1*10,017*Y*3,141614/(2,0*L13);
    KK=2,0*10,017*A*64,0*F12*B12/(LE*3,141612*L12);
    RR=(2,1*10,017*BE*B*DEP+0,5*HW1*B12*20,25)*3,141612*0,5/L;
    ED=LGAMMA+RR;
    EE=0,1,0*LGAMMA+9,0*RR;
    EF=LGAMMA/ALFA13RR/ALFA;
    A4=9,0*ALFA*SS13/KK;
    B4=(10,0*ALFA+9,0*(ED+EE)*ALFA+EF)/KK+18,0*ALFA12*SS12;
    C4=-1,0*(9,0*(EE*ALFA+EF)+9,0*(ED+EE)*EF+ED*EE*ALFA)/KK+ED*ALFA+EF+18,0*ALFA12*(ED+EE)*SS;
    D4=9,0*EE*EF+9,0*ED*EE*EF/KK+ED*EF+18,0*ALFA12*ED*EE;
    AA=B4/A4;
    BB=C4/A4;
    CC=D4/A4;
    PRINT('10/6B'TORTIONAL#VIBRATION'');
    EQUAT3(AA,BB,CC,XA);
    if XA(1)<XA(2)AXA(1)<XA(3)AXA(2)<XA(3) then
    begin
      XT1=XA(1); XT3=XA(2)
    end
    if XA(1)<XA(2)AXA(1)<XA(3)AXA(3)<XA(2) then

```

```

begin
  XT1=XA(1); XT3=XA(3)
end;
if XA(2)<XA(1)XA(2)<XA(3)XA(1)<XA(3) then
begin
  XT1=XA(2); XT3=XA(1)
end;
if XA(2)<XA(1)XA(2)<XA(3)XA(3)<XA(1) then
begin
  XT1=XA(2); XT3=XA(3)
end;
if XA(3)<XA(1)XA(3)<XA(2)XA(1)<XA(2) then
begin
  XT1=XA(3); XT3=XA(1)
end;
if XA(3)<XA(1)XA(3)<XA(2)XA(2)<XA(1) then
begin
  XT1=XA(3); XT3=XA(2)
end;
XT2=4.0*(4.0*LGAMMA+RR)/SS;
AMPT13=(SS*XT1-ED)/(3.0*(SS*XT1-EE));
AMPT33=(SS*XT3-ED)/(3.0*(SS*XT3-EE));
AMPT12=ALFA*(SS*XT1-ED)/(ALFA+SS*XT1-EF);
AMPT32=ALFA*(SS*XT3-ED)/(ALFA+SS*XT3-EF);
XNT1=SQRT(XT1); NPT1=XNT1/6.2832; PERT1=1.0/NPT1;
XNT2=SQRT(XT2); NPT2=XNT2/6.2832; PERT2=1.0/NPT2;
XNT3=SQRT(XT3); NPT3=XNT3/6.2832; PERT3=1.0/NPT3;
PRINT('2/');
PRINT('44B'FREQUENCY*AND*PERIOD*23B'MODE#OF VIBRATION'2/');
PRINT('37B'CIRC,FREQ,'3B'NATU,FREQ,'3B'PERIOD'13B'MAIN*SPAN'12B'SIDE*SPAN'2/');
PRINT('13B'1ST#MODE'11B-1Z.6D3B,-1Z.6D3B,-2Z.4D9B,-1Z.4D3B,-1Z.5D9B,-1Z.5D',XNT1,NPT1,PERT1,AMPT1,
      AMPT13,AMPT12);
PRINT('2/');
PRINT('13B'2ND#MODE'11B-1Z.6D3B,-1Z.6D3B,-2Z.4D9B,-1Z.4D3B,-1Z.1D13B,-1Z.1D',
      XNT2,NPT2,PERT2,AMPT1,AMPT2,AMPT2);
PRINT('2/');
PRINT('13B'3RD#MODE'11B-1Z.6D3B,-1Z.6D3B,-2Z.4D9B,-1Z.4D3B,-1Z.5D9B,
      -1Z.5D',XNT3,NPT3,PERT3,AMPT1,AMPT33,AMPT32);
END;
PRINT('3/100B'END');
end;

```