



土 木 研 究 所 資 料

第 693 号

上吉野川橋振動実験報告書

昭和46年10月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

序

構造研究室では数年来長大吊橋の耐風設計法の問題を手がけているが、その一環として実在吊橋の動的特性を系統的に実測している。昭和 45 年度には水資源開発公団の御好意と、本州四国連絡橋公団の援助により上吉野川橋の振動実験をおこなった。台風災害のため本橋の建設工程が遅れ、その結果当初の実験期日が大幅に遅れたため年度内に報告書をまとめることができなかった。

ここに、実験結果を報告すると同時に実験の準備段階より種々お世話願った機関の関係者に心より感謝の意を表する次第である。

構造研究室長 成田 信之
同 研究員 池村 雅司

目 次

序

1. まえがき	1
2. 上吉野川橋の概要	2
3. 振動実験	5
3.1 実験項目	5
3.2 励振方法	5
3.3 実験種別	6
3.4 測定方法	6
4. 実験結果および考察	8
4.1 共振試験	8
4.2 振動波形試験	24
4.3 構造減衰試験	24
4.4 走行車両による応答	24
4.5 風による振動	36
5. 結 論	39
6. あとがき	40

参 考 文 献

付 録

付-1. 走行車両による応答の解析

付-2. 1. 単径間吊橋の固有値プログラム

2. 走行車両による応答変位, 応答加速度のプログラム

3. 周波数分析プログラム

1. ま え が き

吊橋という形式が他の橋梁形式に比べ剛性に乏しく、可撓性に富んでいることは良く知られている。従って、吊橋の耐風性ならびに耐震性を論ずる場合には対象構造部の動的な特性を十分把握しておく必要がある。

吊橋の動力学的特性（すなわち固有振動数、基準振動波形および減衰係数）の問題はこれまで多くの研究者による解析的研究成果があるが、¹⁾長大支間の吊橋はその架設例が少ないという事情もあって実測例が少ない。特に減衰係数については理論解析は現状では不可能であり、わずかな測定例も橋梁材料、施工法の変化のため結果をそのまま長大吊橋に適用することは疑問が残る。その上、吊橋の耐風安定性に必要なねじれ振動の減衰係数については十分データがない。

このような事情から当研究室では、数年来本州四国連絡橋の耐風設計調査の一環として、^{2), 3)}実在の吊橋またはこれに近い特性を有すると考えられる斜張橋について現場実験を実施して、これら特性値の収集に努めている。

さて、耐風性のみに限った場合、吊橋の風による振動では構造物に致命的な被害を与える恐れが多いねじれ振動と、多くの場合比較的低風速における限定振動として発現する鉛直曲げ振動が問題となる。従って、動的特性はこの両者について求めることが必要である。

初期の段階においては橋梁基礎の動的特性を測定するために製作された機械式起振機を利用し、これを橋面上 $\frac{1}{8}$ 点または $\frac{1}{4}$ 点に設置し上下あるいは水平橋軸直角方向に加振して鉛直振動およびねじれ振動を発生させようと試みた。この方法によるとねじれ振動と水平橋軸直角方向曲げ振動が連成し、純粹のねじれ振動が励起できないという欠点が生ずる。さらに、この起振機には不平衡重錘の回転を急停止できないという短所もあり、十分大きな振幅をもった自由減衰振動の記録をとることが困難であるため、精度よく減衰率をうることはかなり難しい。

このような状態を打破するため、昭和41年度に2連の機械式起振機を製作した。本機は従前の起振機の欠点を是正したものである。翌42年度には尾道大橋、43年度には箱ヶ瀬橋、44年度には金比羅橋、前年度（45年度）には上吉野川橋に使用し、いずれも満足な結果をえている。

今回は起振機による振動実験のほか、衝撃係数の実験値をうることを目的としたダンブトラックによる走行実験をおこなった。長大吊橋主構の設計にあたっては現在のところ活荷重による衝撃係数は道路橋については考えなくてよいことになっており、この考え方は中程度の規模の吊橋についても同様に適用されているが、実際これでよいのかどうかその妥当性を走行車両による実応答から判断しようとするものである。

2. 上吉野川橋の概要

上吉野川橋は水資源開発公団が吉野川水系に建設中の早明浦ダム補償道路として高知県土佐郡土佐村早明浦に架設された単径間トラス補剛二鉸吊橋である。(図1, 2, 写真1, 2 参照)中央支間は253.5mで現在のところ我国では若戸大橋について第2位を誇る長大吊橋で、主ケーブルに平行線を用いている。本工事は施工性の比較のために、上流側ケーブルをエアースピンング工法、下流側ケーブルをパラレルワイヤーストランド工法により架設された。ケーブルの動的特性試験が当研究所機械研究室を中心におこな⁴⁾われた。

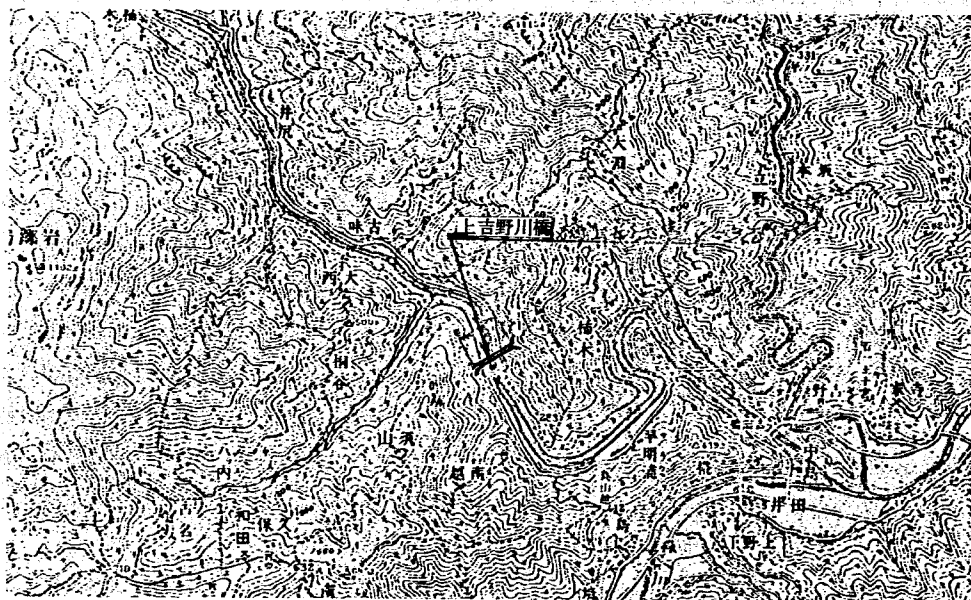


図-1 上吉野川橋架設地点

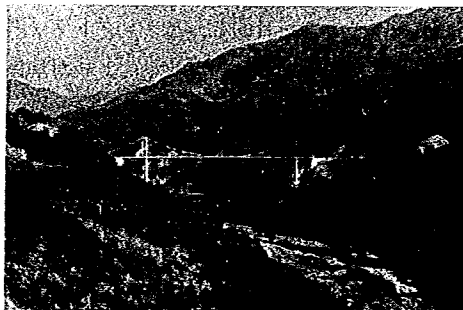


写真-1

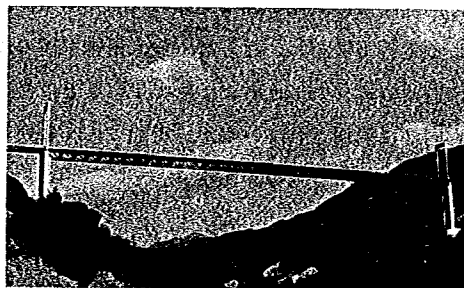
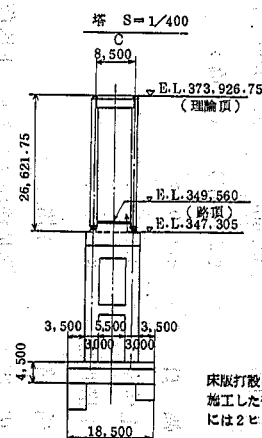
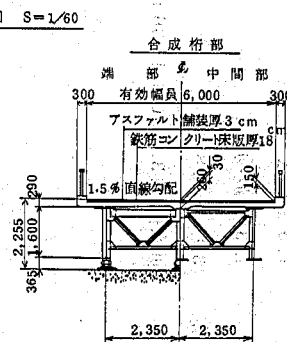
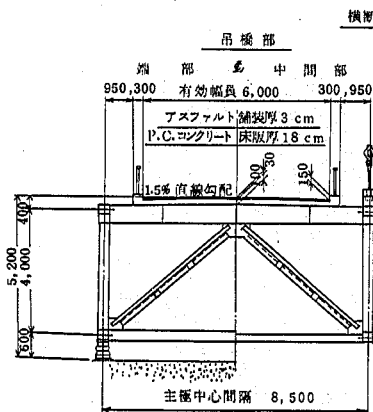
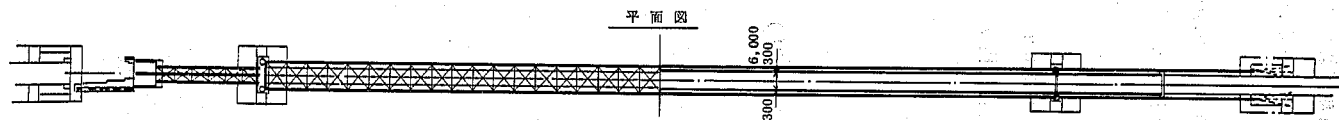
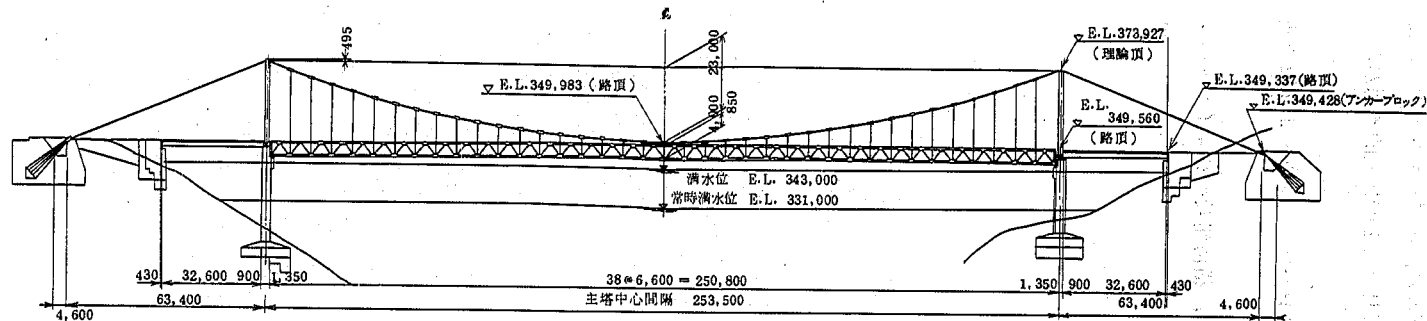


写真-2



- 設計条件
1. 橋格 一等橋
 2. 巾 6.0 M
 3. 活荷重 床組ハンガーに対して T-20
補剛トラス、塔、主ケーブルに対して 350
 4. 衝撃 T荷重に対してのみ考慮
 5. 風荷重

	無載荷時	載荷時
吊橋造部	450 kg/m^2	225 kg/m^2
活荷重	—	150
ケーブル	130	65
塔	190 (340)	95 (170)

(但し吊橋造部、活荷重については一橋造りの荷重)

注 塔の()内は水平橋に対するものを示す。

6. 地震荷重 基本設計震度 $H=0.15$

補剛トラスの架設法

床版打設は補剛トラスを3ヒンジ構造として施工した後、中央ヒンジ部を閉合し、最終的には2ヒンジ補剛トラス吊橋とする。

図-2 上吉野川橋一般図

吊橋主ケーブルとしてのパラレルワイヤーストランドによるケーブルは、エアスピニングによるケーブルより次の点で優れているといわれている。(1)架設作業が安易なこと(2)比較的風速があっても作業が可能なこと(3)現場作業工数が少なく架設日数が短いこと。

なお、本橋の構造上の特徴は、床版に軽量コンクリートを用いたプレハブコンクリート床版を使用した点にある。

本橋は宮地鉄工所および横河橋梁製作所により製作され、宮地建設、横河建設のジョイントベンチャーにより架設された。竣工は昭和46年3月30日である。

次に本橋の諸元を紹介しておく。

橋 長	318.700 m
支間別	32.600 + 253.500 + 32.600 m
	(合成桁) (吊橋) (合成桁)
幅 員	6.000 m
主構高	4.000 m
主構間隔	8.500 m
橋 格	一等橋
床 版	軽量鉄筋コンクリート床版(18 cm 厚)
舗 装	アスファルト舗装(3 cm 厚)
横断勾配	1.5 ‰直線
縦断勾配	1/300放物線
地覆幅・高	30 cm・18 cm
桁下余裕高	洪水位343.000 + 1.36 m

3. 振 動 実 験

3.1 実験項目

実験は大別して起振機による振動実験と走行車両（ダンブトラック総重量23t）による振動実験からなる。これを要約すると次のようになる。

(1) 起振機による振動実験

加振位置 $\frac{1}{8}l$ 点 加振方向 上下 振り
 " $\frac{1}{4}l$ 点 " " "

(2) 走行車両による振動実験

速度 10, 20, 30, 40, 45 km/h

3.2 励振方法

図3に見るような2連機械式起振機を用い
 ておこなった。性能は最大回転数10cpsに
 おいて最大出力15tである。この起振機は
 2本の水平軸のまわりに不平衡重錘を逆方向に
 回転させて正弦的な周期力を発生させるよう
 に作られており、次の特徴をもつ。

1. 2台の起振機は全く性能が同じであり、
 同位相に運転することによりたわみ加振す
 ることができ、逆位相に運転することにより
 ねじれ加振することができる。

2. 起振機運転中加振振動数を変えずに加振力
 を0～100%の任意の値に変え得る。従って過大
 な加振力による共振で構造物が損傷を受けないよ
 うにすることができる。

3. 加振力100%から0%までの変更は任意の
 振動数において10秒以内で可能である。これに
 より各共振点での完全な自由減衰振動を観測する
 ことができる。

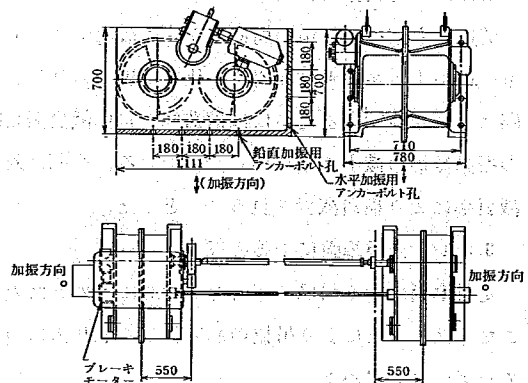


図-3 起振機図面

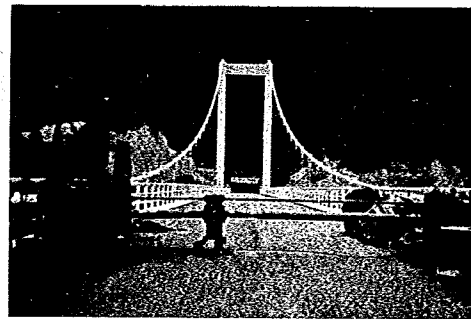


写真-3

起振機は振動波形の節の部分を選けて加振できるように $\frac{1}{8}l$ 点および $\frac{1}{4}l$ 点に設置して実験をおこなった。使用した起振機の一般図を図-3に、取付状況を写真3に示す。

3.3 実験種別

3.3.1 共振試験

固有振動数を実験的に求めるため共振試験をおこなった。厳密に言えば共振々動数は固有振動数と等しくはないが、構造減衰が小さくまた起振機等の付加重量が橋体自身のそれに比べて無視し得るので両者は等しいとみなしてよい。従って、共振曲線から固有振動数を求めた。

3.3.2 振動波形試験

共振々動波形も厳密には規準振動波形とは異なるが、上述した理由により両者は等しいと考える。構造物を共振状態におき、換振器（加速度計）を振動波形を描くには十分なだけ細かく橋面上を移動させて各点の振動振幅を測定した。

3.3.3 構造減衰試験

構造減衰は振動体が1周期のうちに散逸するエネルギーの最大エネルギーに対する比率で表わされる。実際にこれを測定するためには構造物の自由減衰振動時の振動振幅の減少の割合から計算できる。今回は対数減衰率により構造減衰を見ることとした。

3.3.4 走行車両による応答

走行車両による吊橋の応答を実験的に求めるためおこなった。これにより吊橋の衝撃係数の取り方についてのデータを求めた。



写真-4

3.4 測定方法

振動の測定は全て加速度計、ストレインアンプ、記録器を用いておこなった。測定用機器の配置を図-4に示す。このようにしてえられたデータは次の方法により整理をおこなった。

$$\text{共振曲線} \quad \eta_a = \frac{\ddot{\eta}}{(2\pi f)^2}, \quad \eta_r = \frac{\eta_a}{f^2}$$

$$\text{振動波形} \quad \eta_a$$

$$\text{対数減衰率} \quad \delta = \log_e \frac{\ddot{\eta}_n}{\ddot{\eta}_{n+1}}$$

測定機器の set up を写真5に、また同時に風速計をとり付け参考値を記録した。（写真-4）

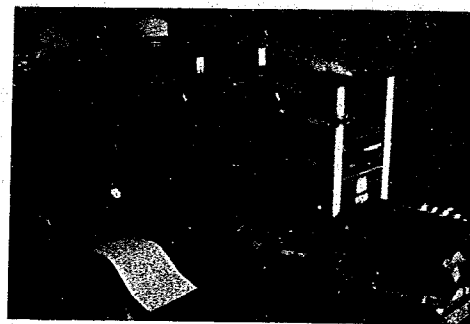


写真-5

4. 実験結果および考察

実験は昭和46年3月21日から25日までの5日間おこなった。以下にその結果の大略について説明し、合せて考察を述べる。実験の当初は風速が8~12m/sあり、風による振動を参考に記録することができた。これについては後で述べる。

4.1 共振試験

各測点で得られた共振曲線を図-5に、これから読み取った共振振動数を表-1に示す。たわみ振動の逆対称2次の振動は、図から見られるように十分な共振点をとらえていないようである。また、起振機位置による差はほとんどないと考えられる。

実験により得られる共振振動数を推定するためエネルギー法により計算をおこなった。プログラムを付-2に示す。計算にあたっては次のものを考慮した。

(1) たわみ振動

単位長あたりの吊橋の重量として、上、下弦材、ケーブル、縦桁、床板、地覆、高欄、上・下横構、垂直材の重量を、断面2次モーメントについては上・下弦材、縦桁、床板(10%を有効とする)の断面2次モーメントを考慮した。この結果表-1に見るように実験値をかなりの精度で推定することができることがわかった。

(2) ねじれ振動

単位長あたりの吊橋の重量の取り方はたわみ振動と同一である。回転中心は、上・下弦材、縦桁、床板、地覆を対象として求め、これから極慣性モーメントを求めた。この結果表-1に見るように実験値を精度よく推定することができることがわかった。

表-1 共振振動数および対数減衰率

	共振振動数 (c/s)				対数減衰率	
	1/2点加振	1/4点加振	計算値	波 形	1/2点加振	1/4点加振
鉛 直	0.46		0.496	対 称 1 次	0.0250	
	0.98		0.944	対 称 2 次	0.0383	
	1.55		1.593	逆対称2次	0.0241	
	2.10		2.453	対 称 3 次	0.0313	
ね じ れ	1.32		1.320	対 称 1 次	0.0252	
	2.30		2.301	逆対称1次	0.0286	

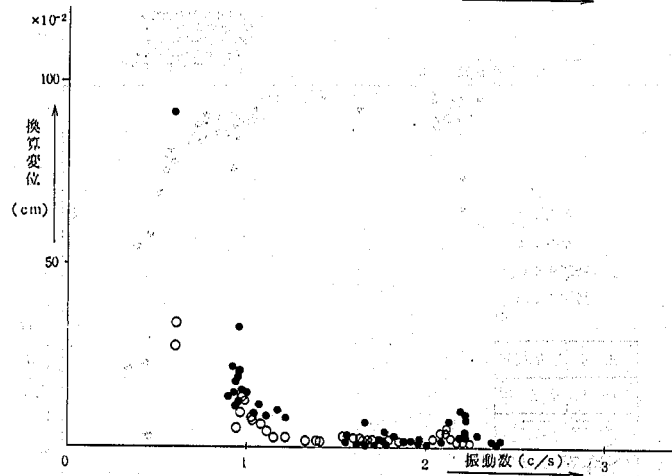
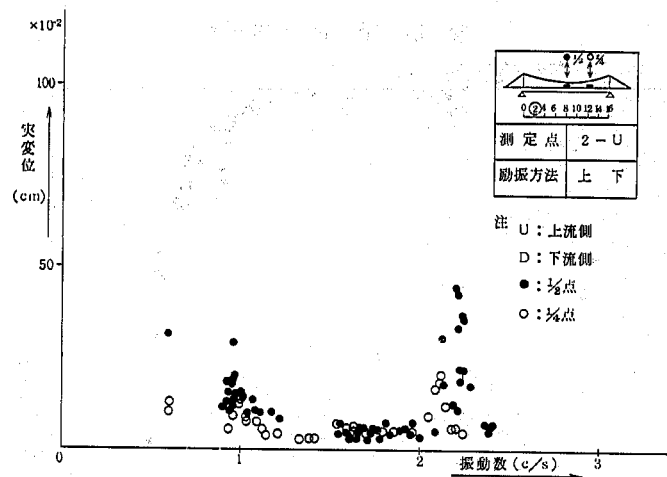


図-5.1 共振曲線

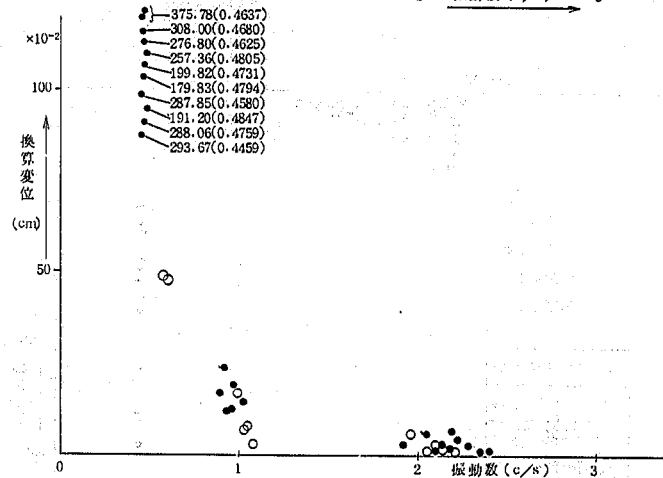
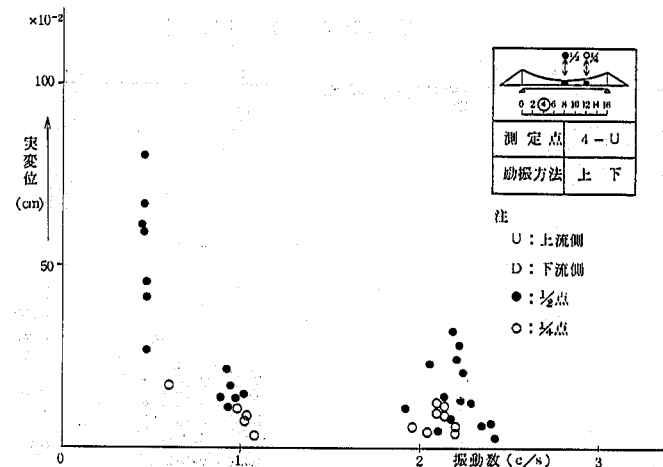


図-5.2 共振曲線

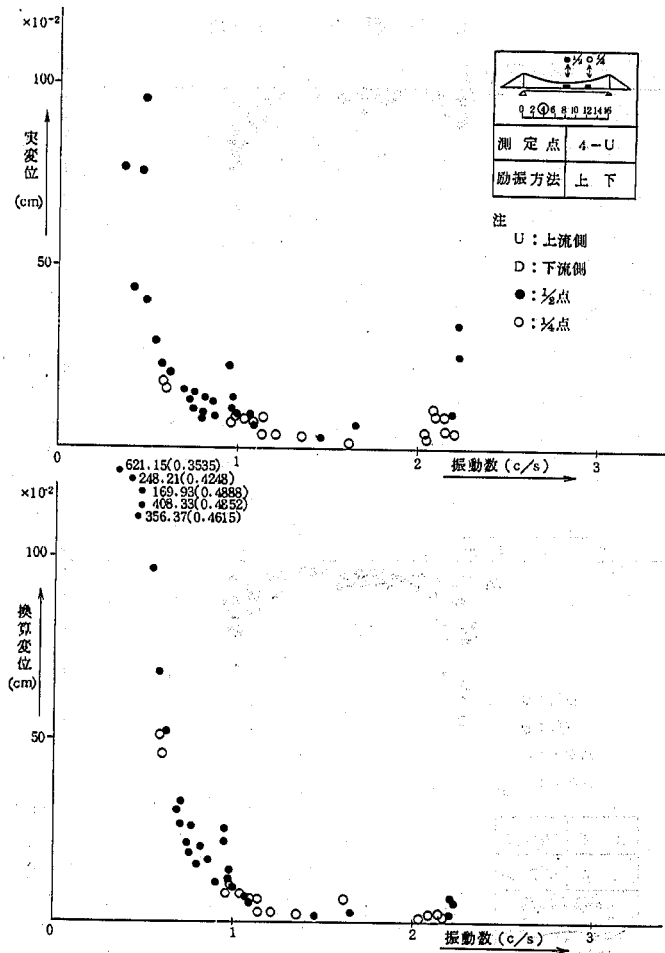


図-5.3 共振曲線

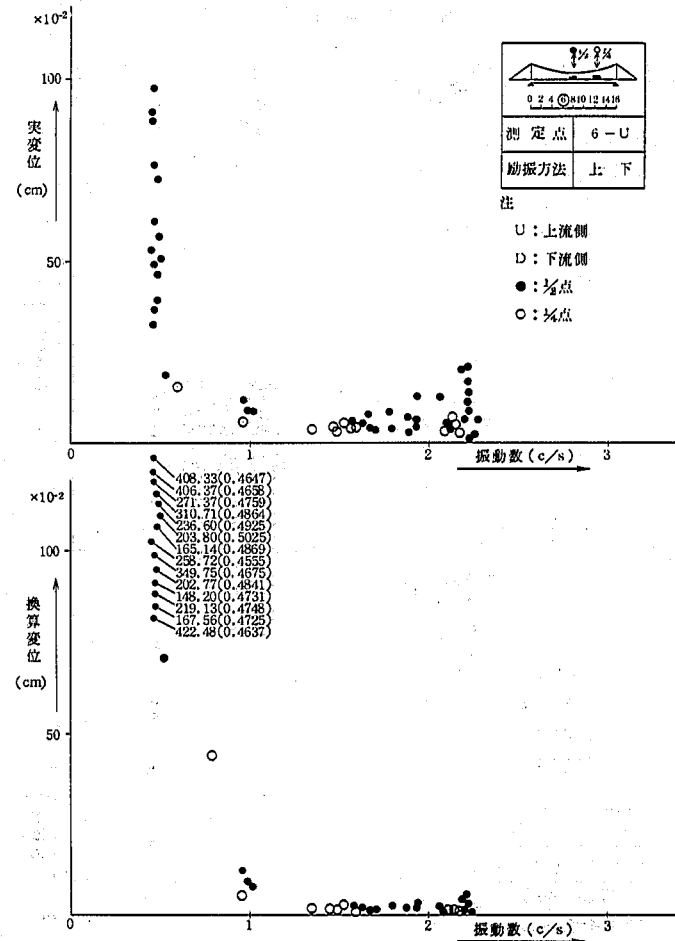


図-5.4 共振曲線

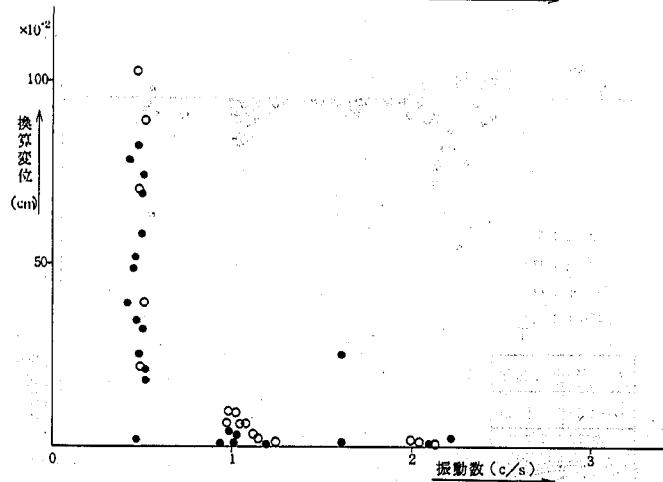
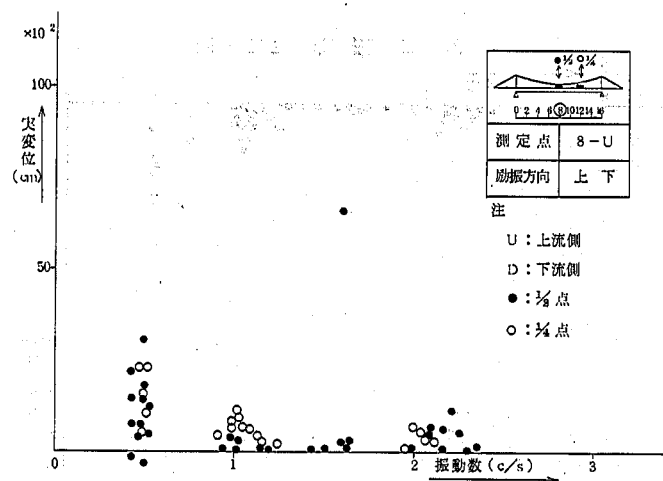


図-5.5 共振曲線

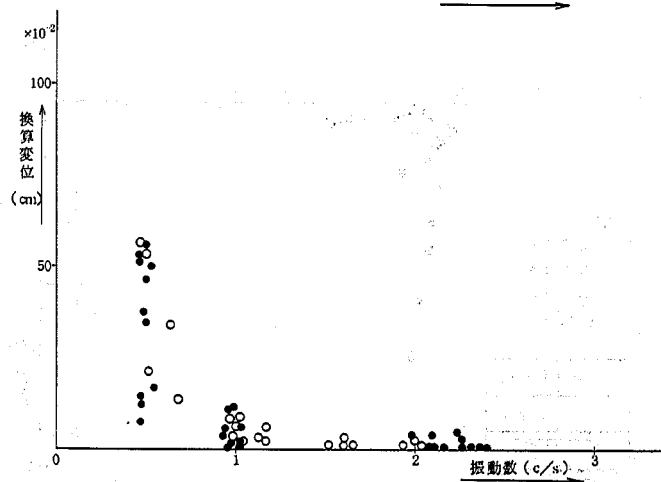
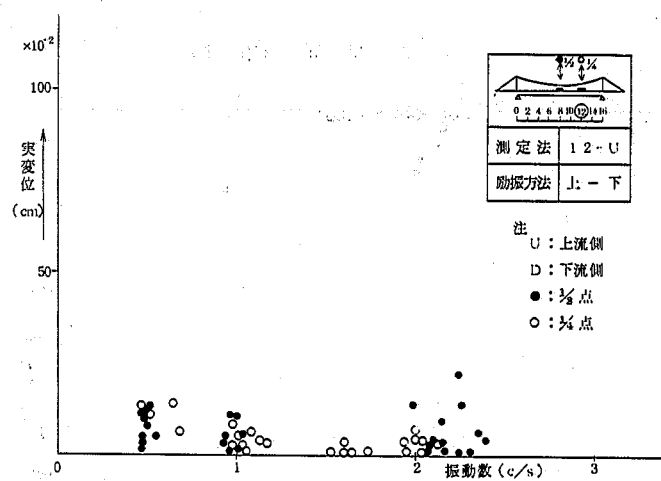


図-5.6 共振曲線

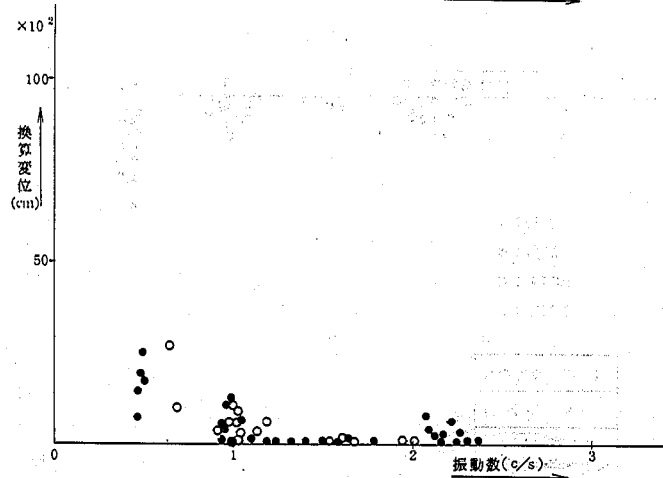
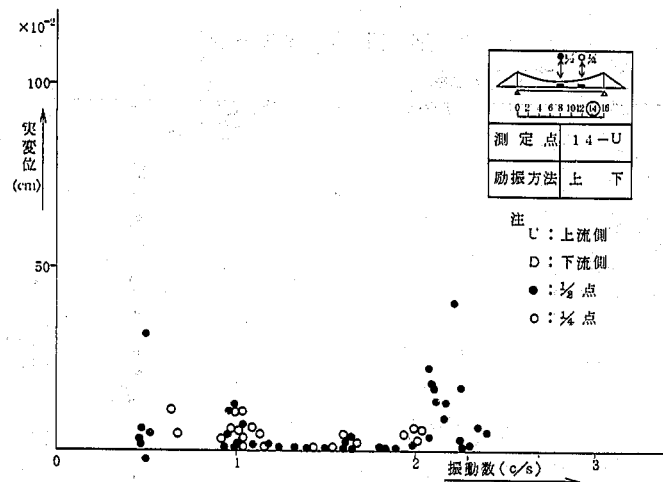


图-5.7 共振曲线

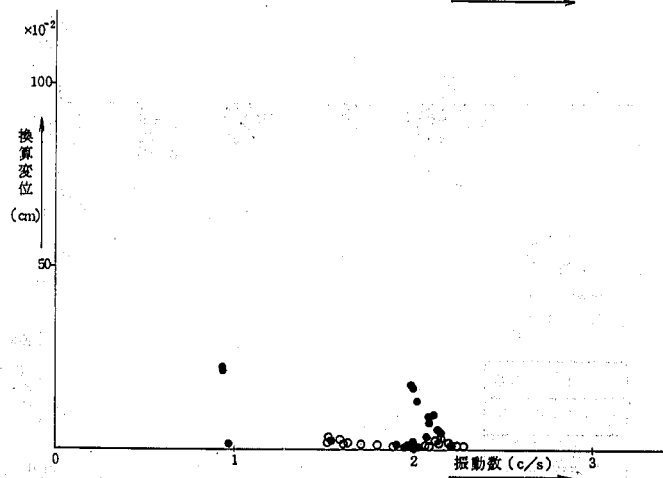
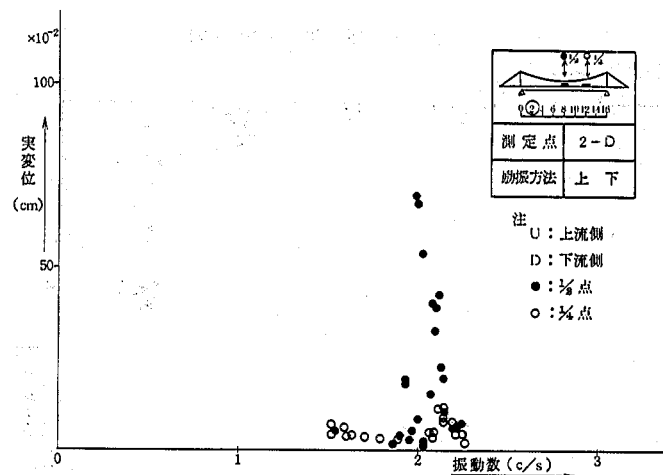


图-5.8 共振曲线

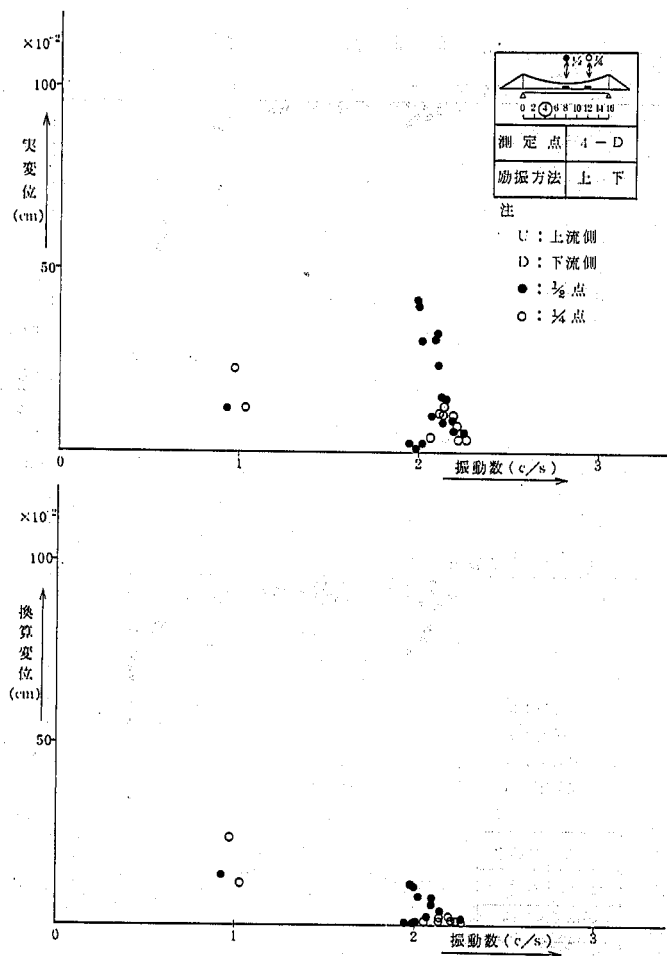


図-5.9 共振曲線

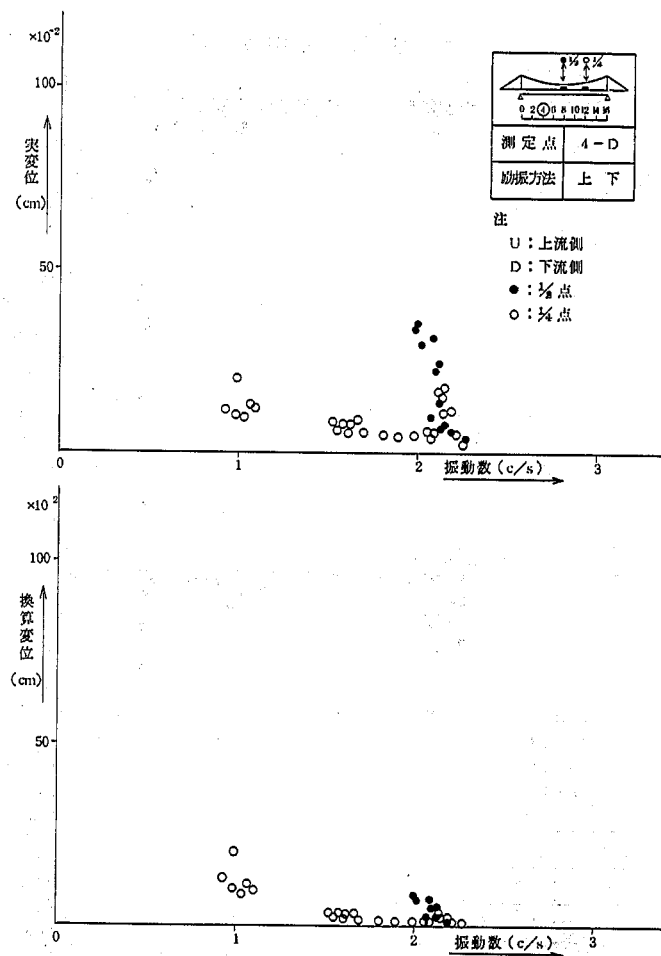


図-5.10 共振曲線

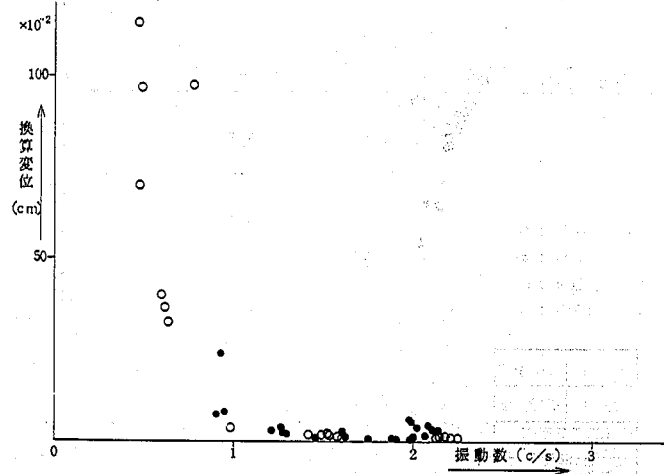
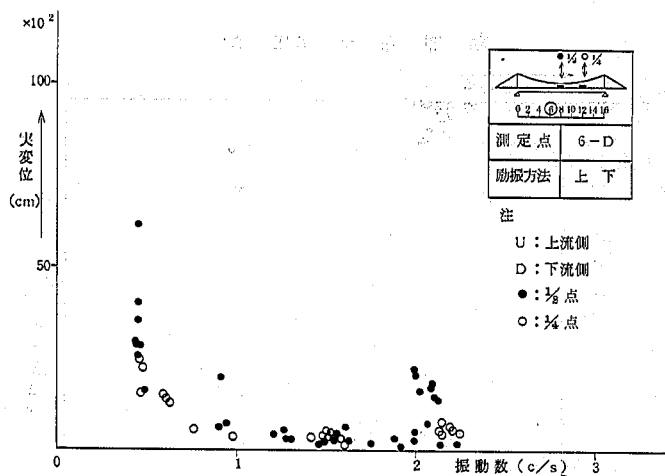


図-- 5.11 共振曲線

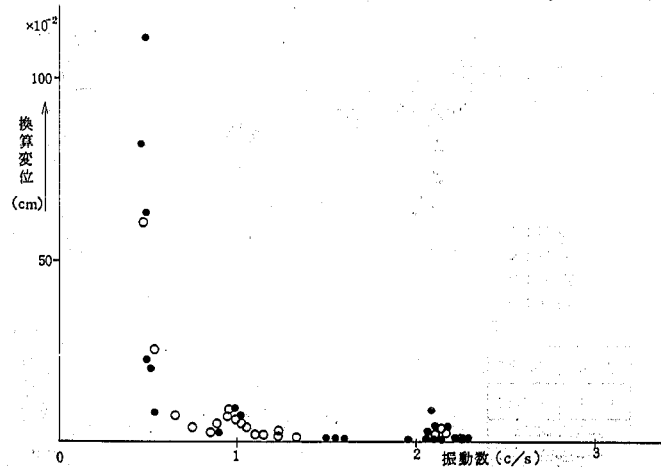
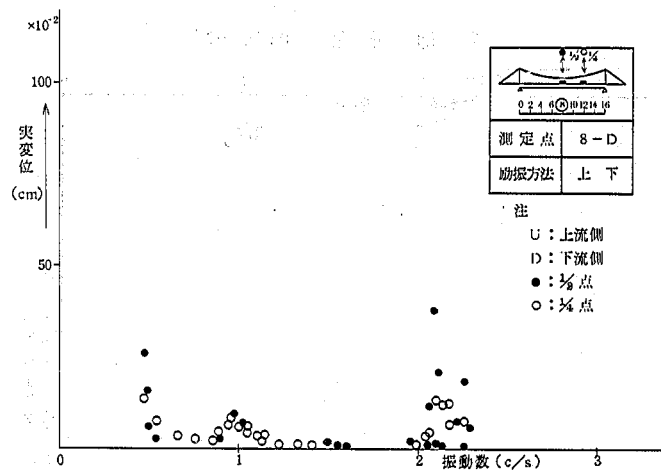


図- 5.12 共振曲線

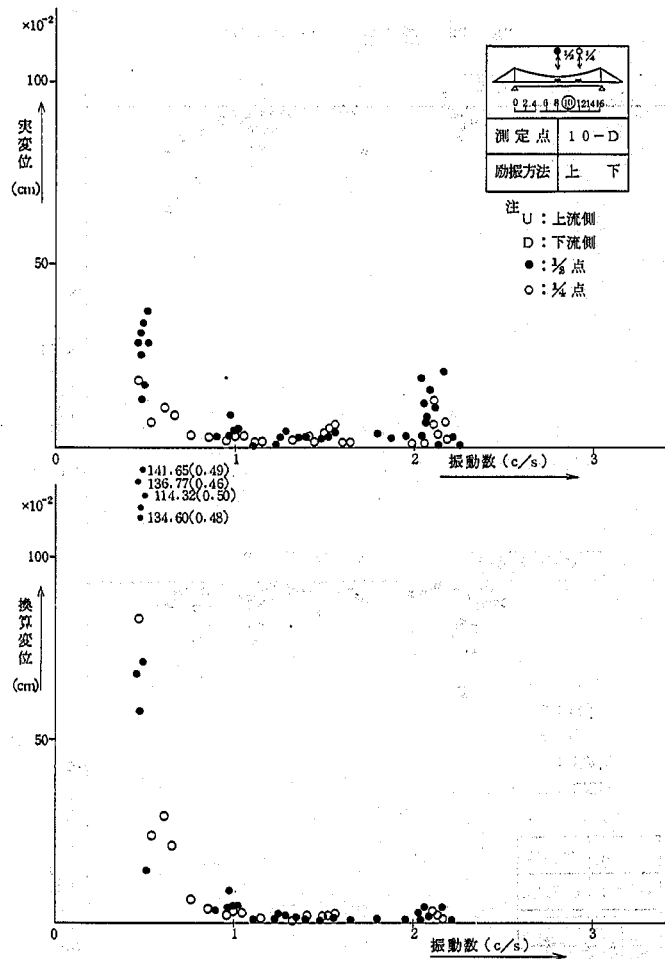


図-5.13 共振曲線

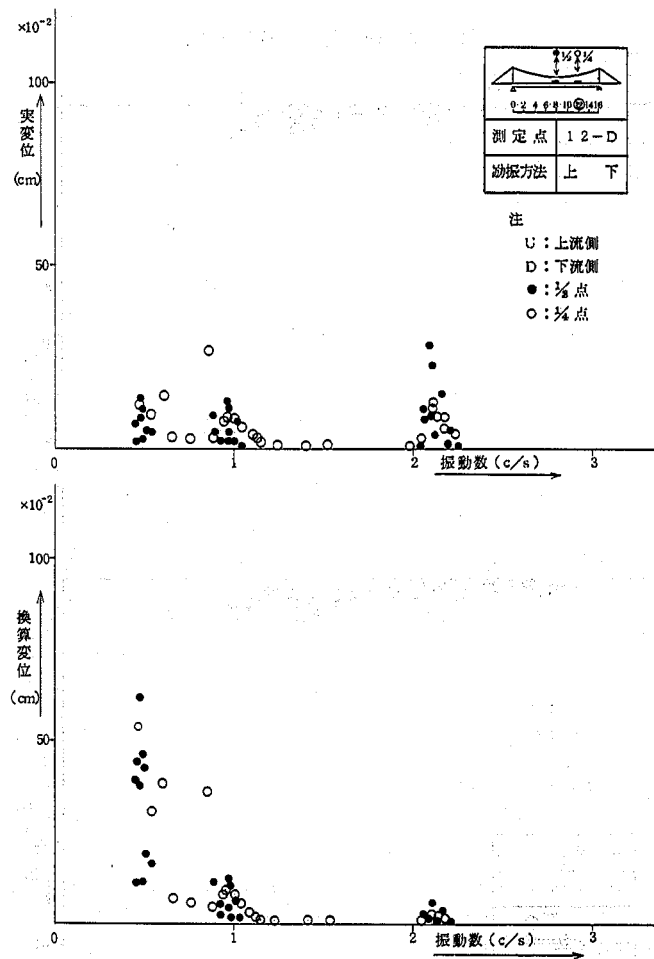


図-5.14 共振曲線

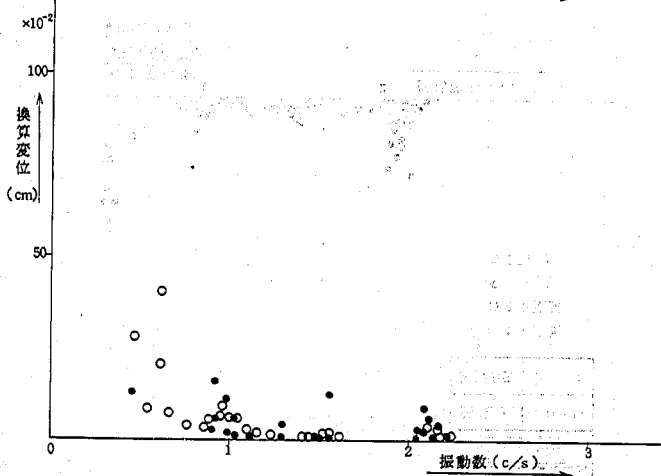
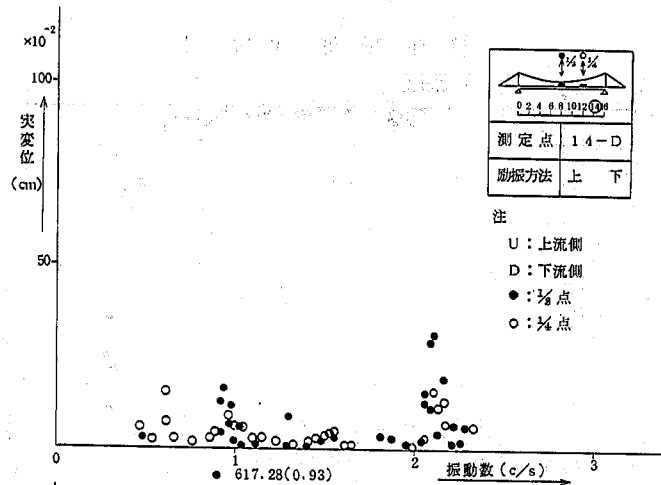


図-5.15 共振曲線

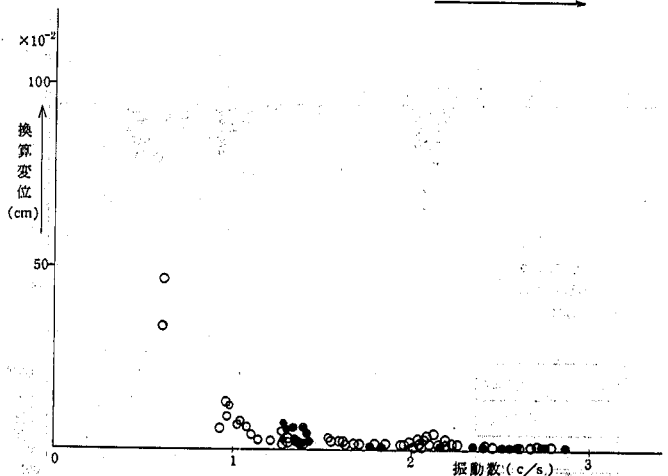
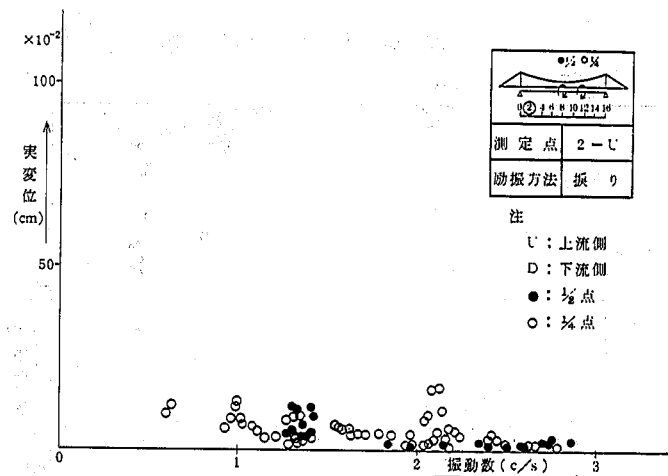


図-5.16 共振曲線

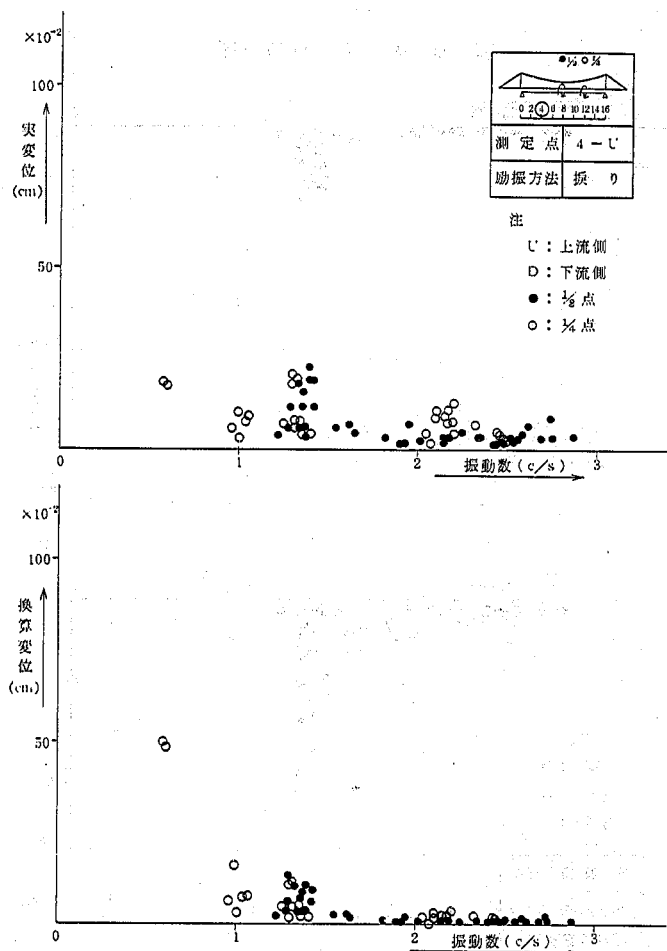


図-5.17 共振曲線

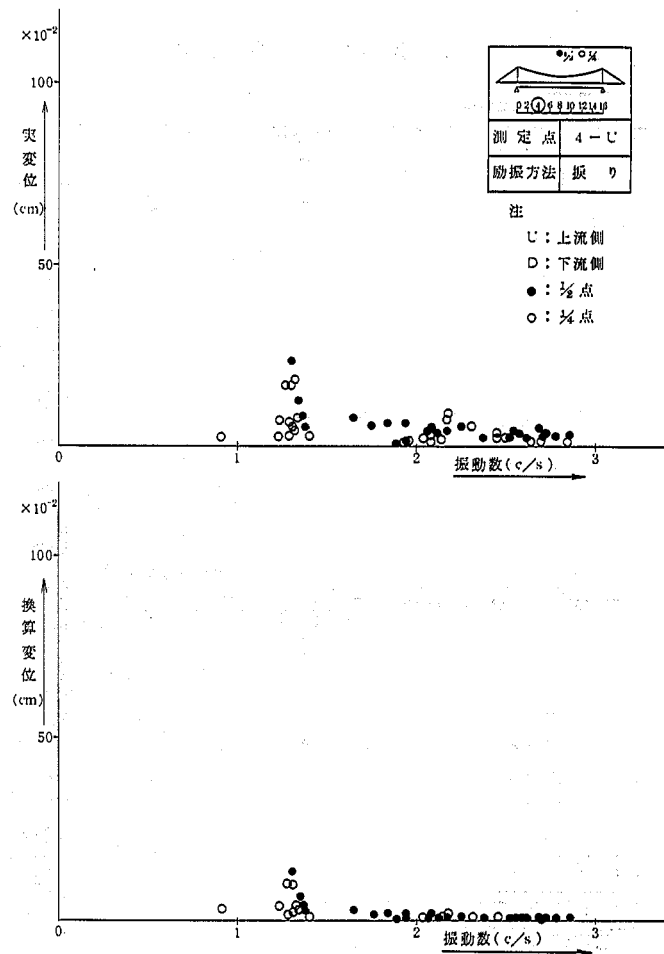


図-5.18 共振曲線

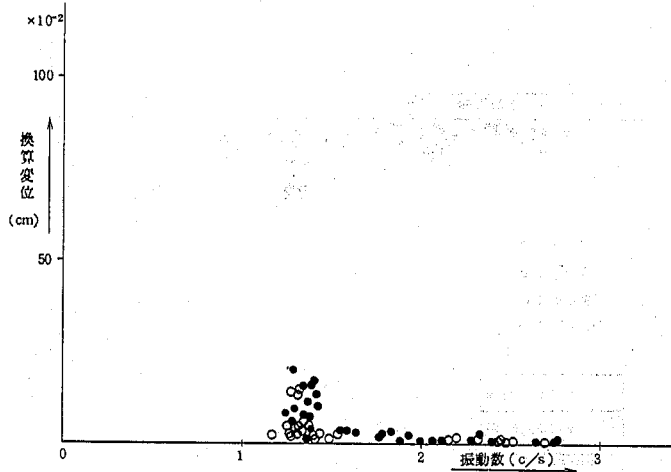
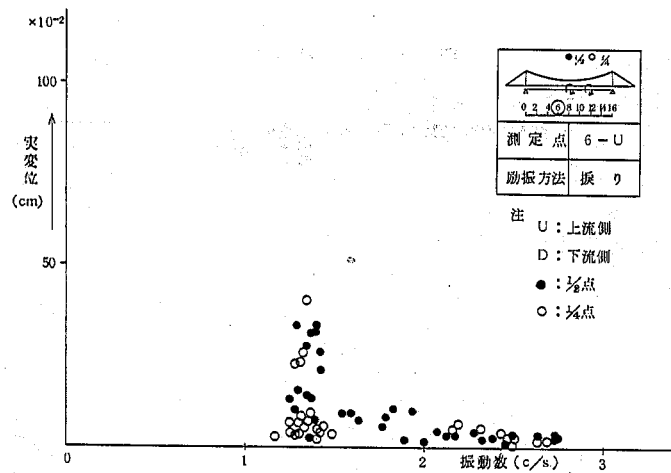


図-5.19 共振曲線

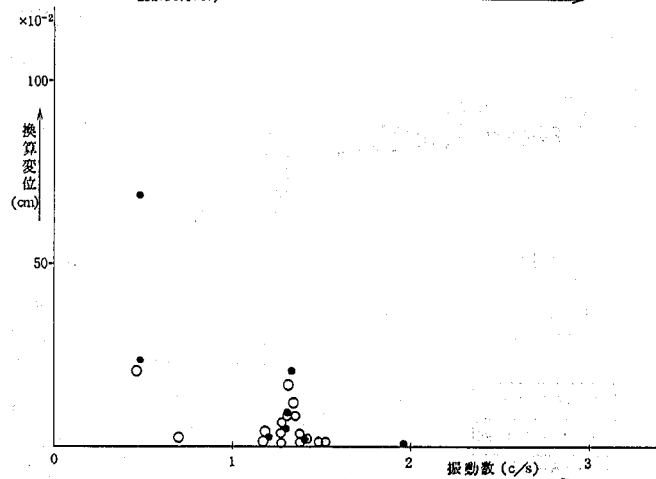
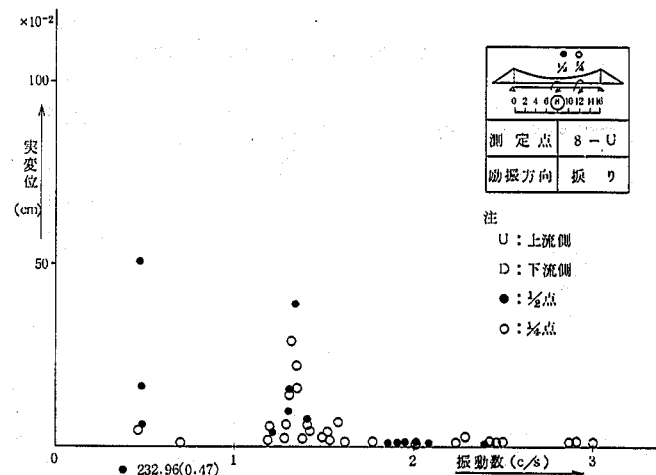


図-5.20 共振曲線

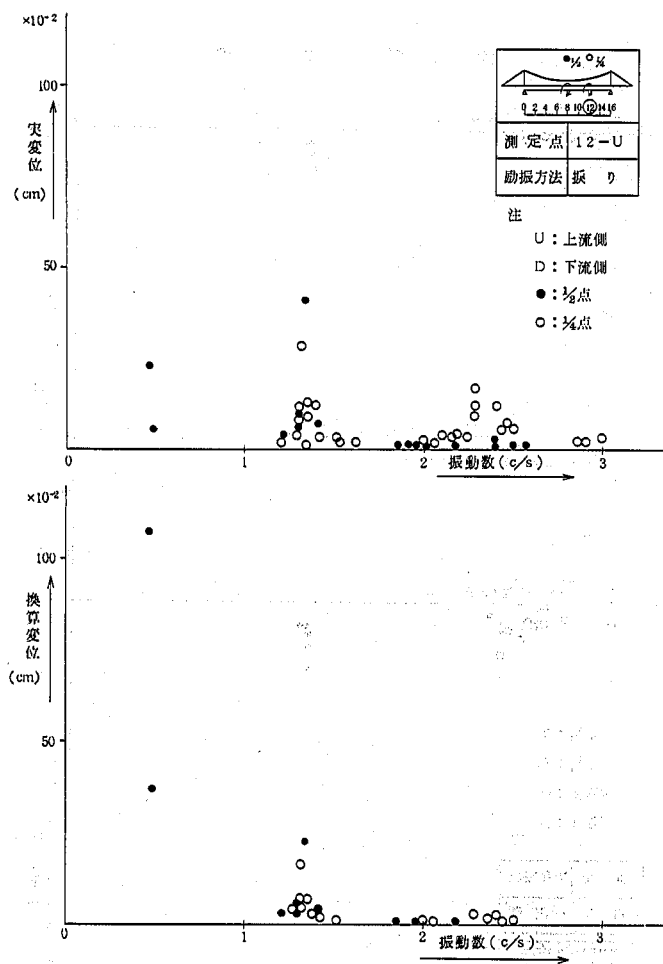


図- 5.21 共振曲線

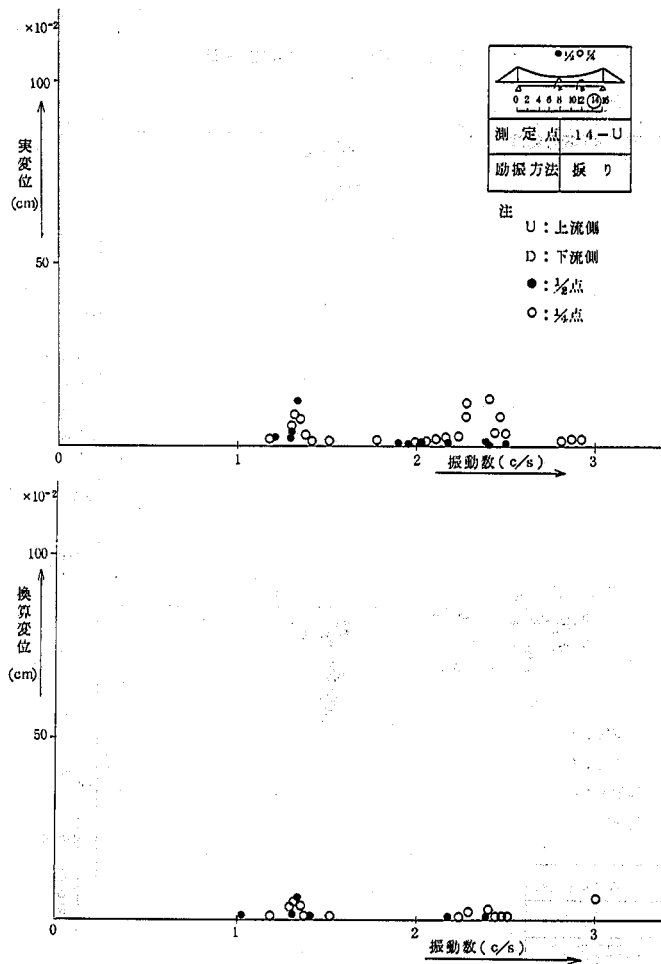


図- 5.22 共振曲線

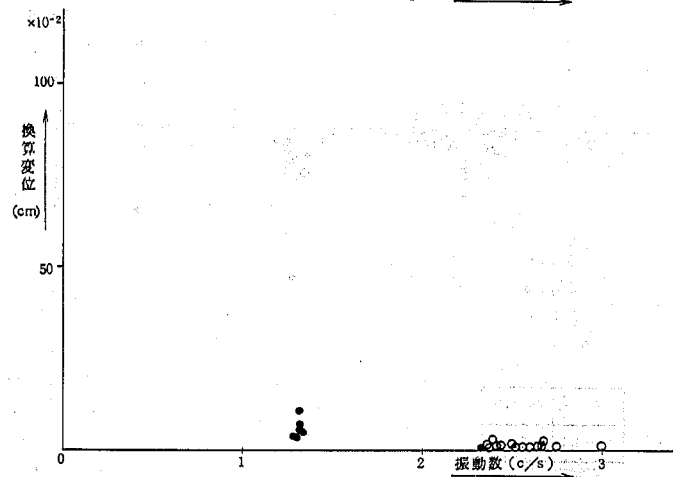
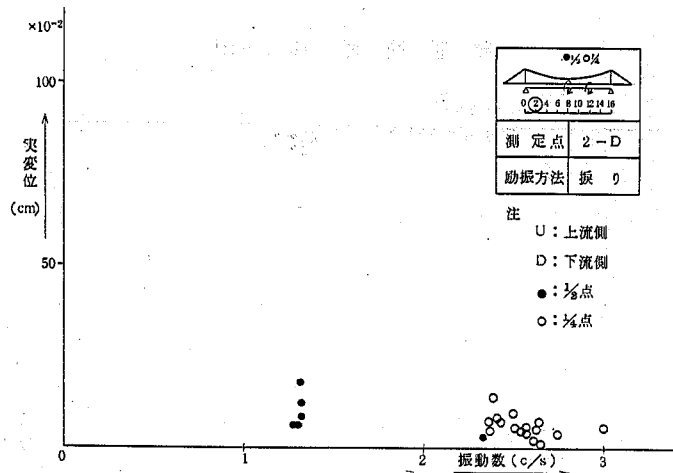


圖-5.23 共振曲線

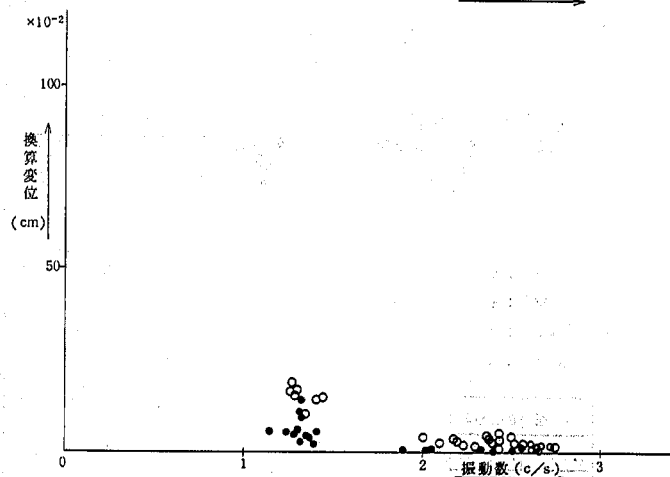
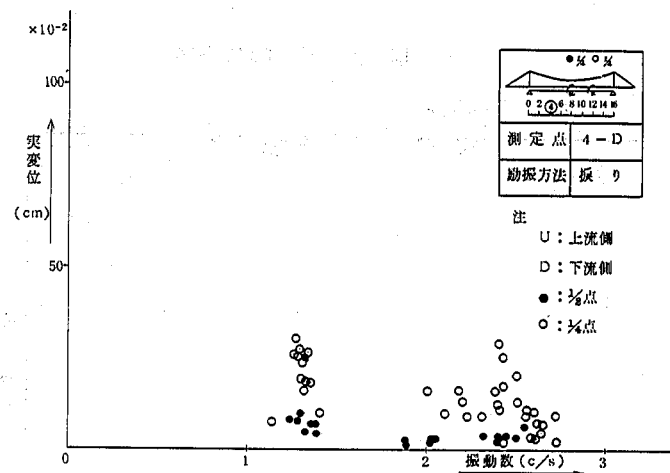


圖-5.24 共振曲線

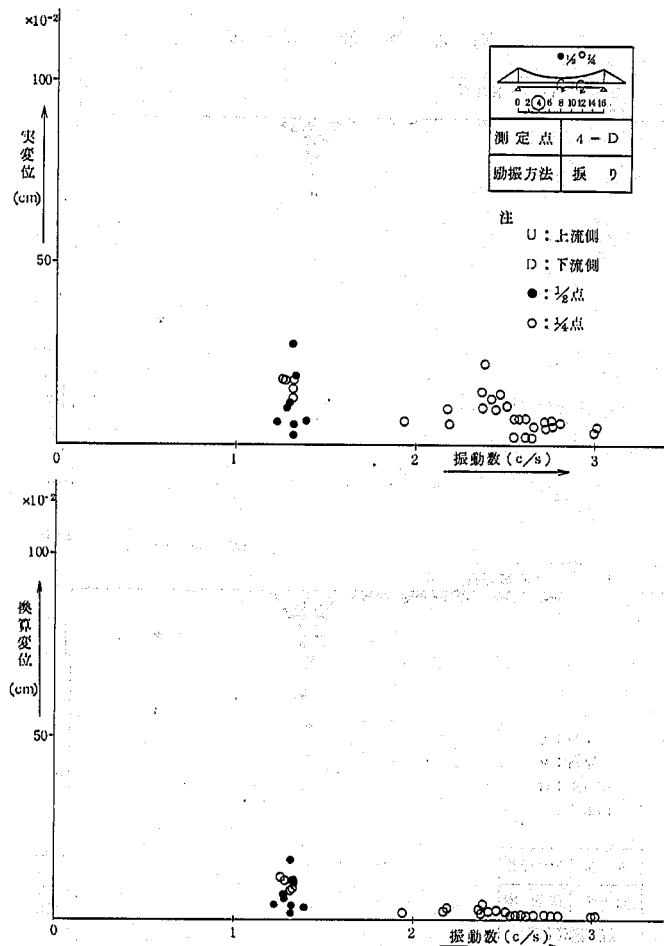


図-5.25 共振曲線

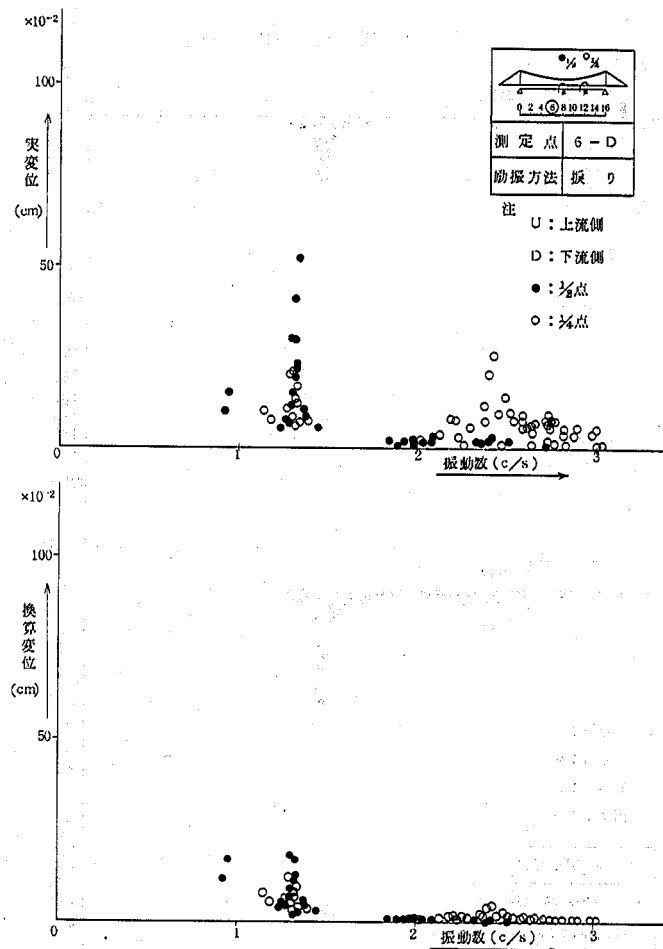


図-5.26 共振曲線

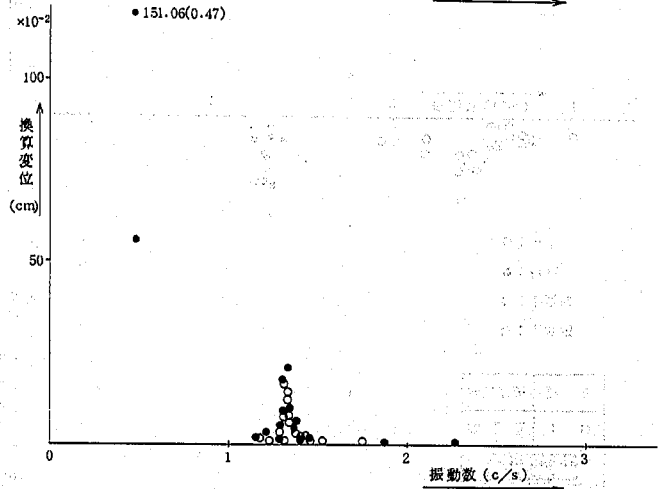
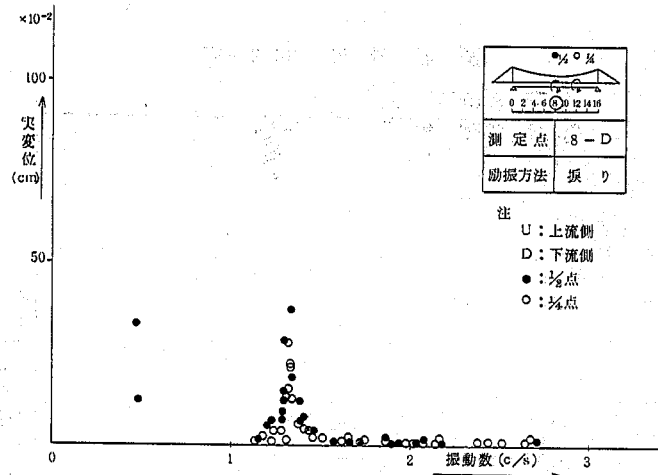


図-5.27 共振曲線

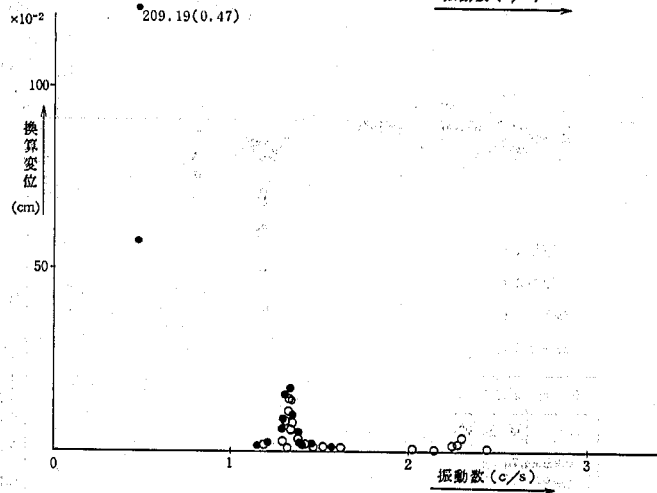
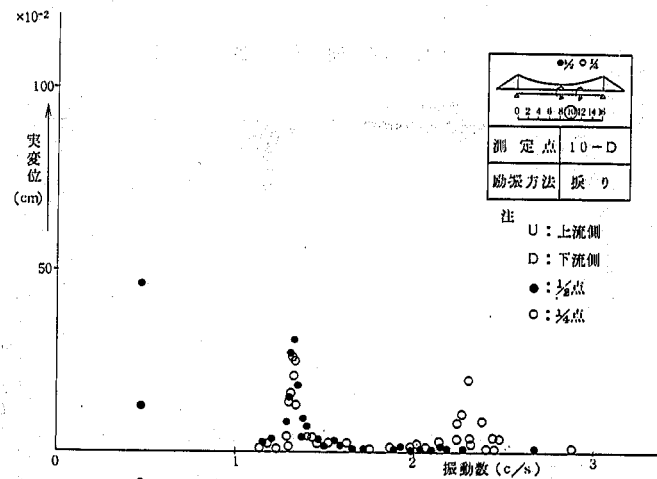


図-5.28 共振曲線

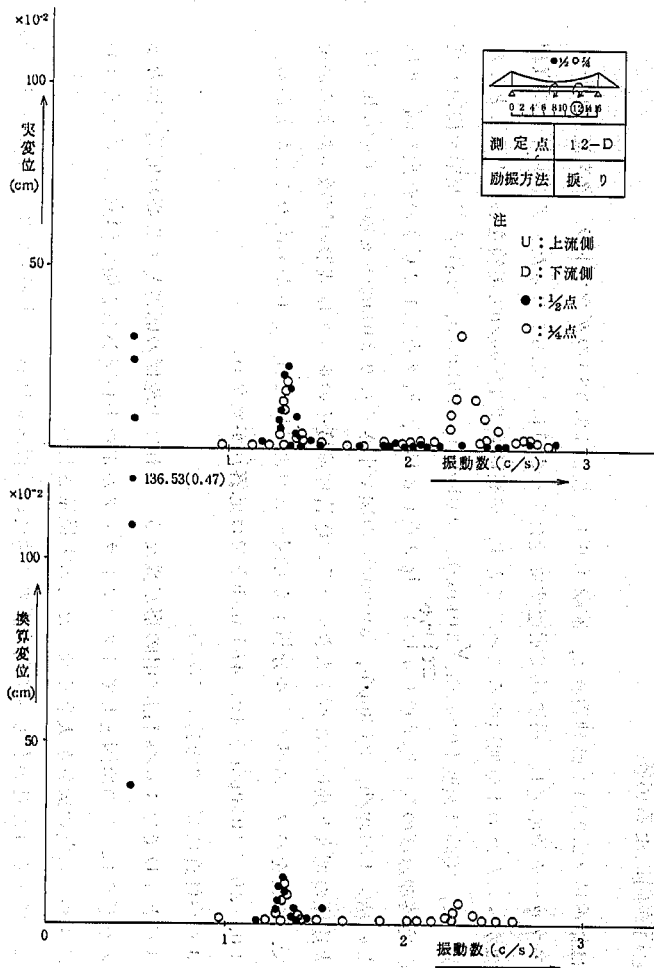


図-5.29 共振曲線

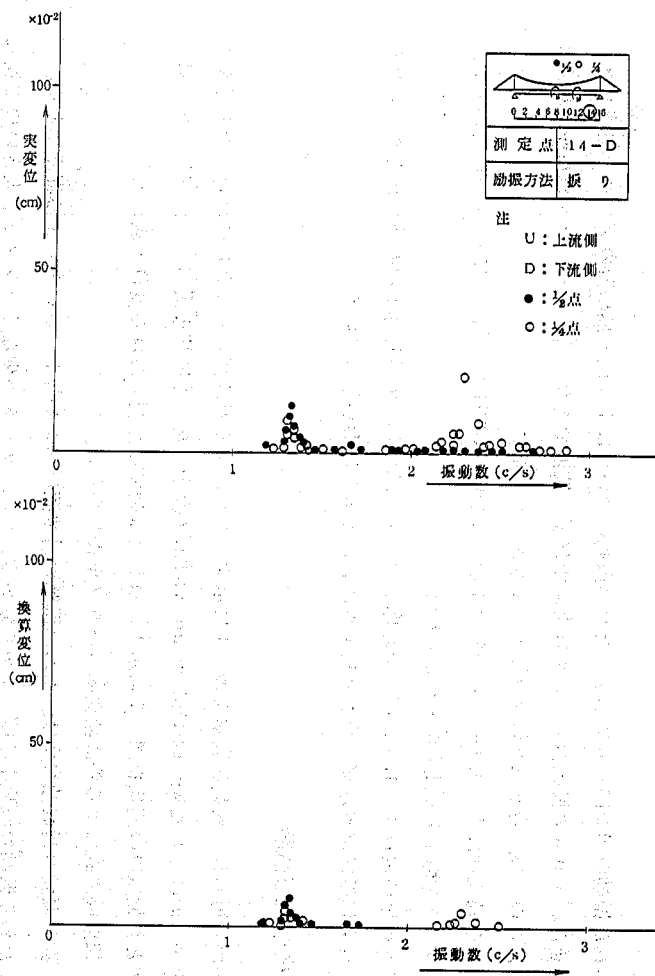


図-5.30 共振曲線

4.2 振動波形試験

得られた振動波形を図-6に示す。たわみ振動については上流側の換振器のデータを整理したものを用いた。10uの換振器については実験中破損し較正できない状態となったため整理の対象外とした。このため、点9, 10のプロットができなくなった。

たわみ振動波形は $f = 0.46 \text{ c/s}$ の対称1次, 0.98 c/s の対称2次, 1.55 c/s の逆対称1次, 2.10 c/s の対称3次の波形がとらえられた。

ねじり振動波数は $f = 1.32 \text{ c/s}$ で対称1次, $f = 2.4 \text{ c/s}$ で逆対称1次の波形がとらえられた。いずれも起振機位置は $\frac{1}{2} \ell$ 点より $\frac{1}{4} \ell$ 点における方が波形が整っている。

4.3 構造減衰試験

実験から得られた対数減衰率を表-1に示す。測点による対数減衰率の変化はないものと考えて振幅をweightとしたweighted mean valueで表示した。この結果次のことが分かった。対数減衰率と初期振幅の関係を図-7に示す。ねじり振動では路側における変位で表わした。

- (1) 起振機位置による差は減衰率のバラツキより小さい。
- (2) 振れ振動の対数減衰率は、たわみ振動の対数減衰率より若干小さいといえる程度である。
- (3) たわみ振動の減衰率は図-7から分かるように、データが少なくバラツキも大きいので振れ振動の減衰率に比べて信頼度が低い。

4.4 走行車両による応答

車両は総重量22.98t(砂利満載), 前輪4.6t, 後輪18.38tのダンプトラックを使用した。実験はアプローチで加速し、吊橋部で定速度で走行するようにしておこなった。アプローチの直線区間が短かったため十分加速することができず、最高速度で45km/hで実験をおこなうことになった。従って、実験は速度10km/h, $\sqrt{30} \text{ km/h}$, 40km/h, 45km/h, で右岸→左岸を往復し実験した。応答加速度のうち $\frac{1}{4} \ell$ 点(4U), $\frac{1}{2} \ell$ 点(8U), $\frac{3}{4} \ell$ 点(12U)の結果を図-8に示す。この結果10km/h, 20km/h, 30km/hの順で小さくなり30km/hを境に40km/h, 45km/hと速度の増大と共に加速度が大きくなる。応答加速度そのまゝでは波形の特徴があきらかでないで、これをパワースペクトル分析すると図-9のようになる。これから次のことが分かる。

- (1) 10, 20, 30km/hと40, 45km/hとでは応答形が異なる。
- (2) 3c/s付近にピークを持っている。
- (3) 4Uと4Dでは4c/s付近の山の形が異なる。これは上流側の応答と下流側の応答が異なることを意味し、この原因としてはダンプトラックの走行中心線が上流側に偏位しこのため4Uでは4c/s付近の成分が大きくなったものと推定される。

ここでえられた見方をもって実験値の加速度応答の図を見ると、上のようなことが確認される。

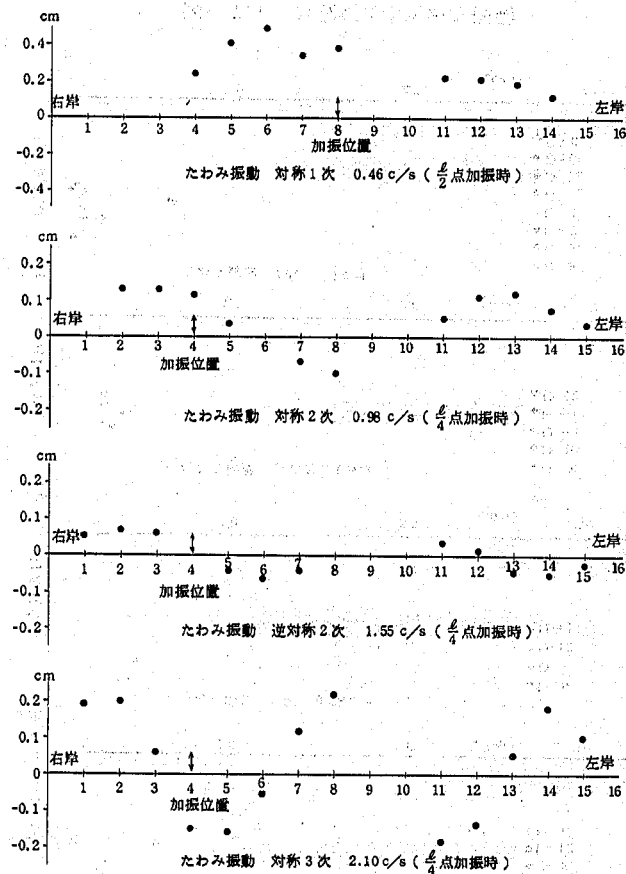


図-6.1 振動波形たわみ振動

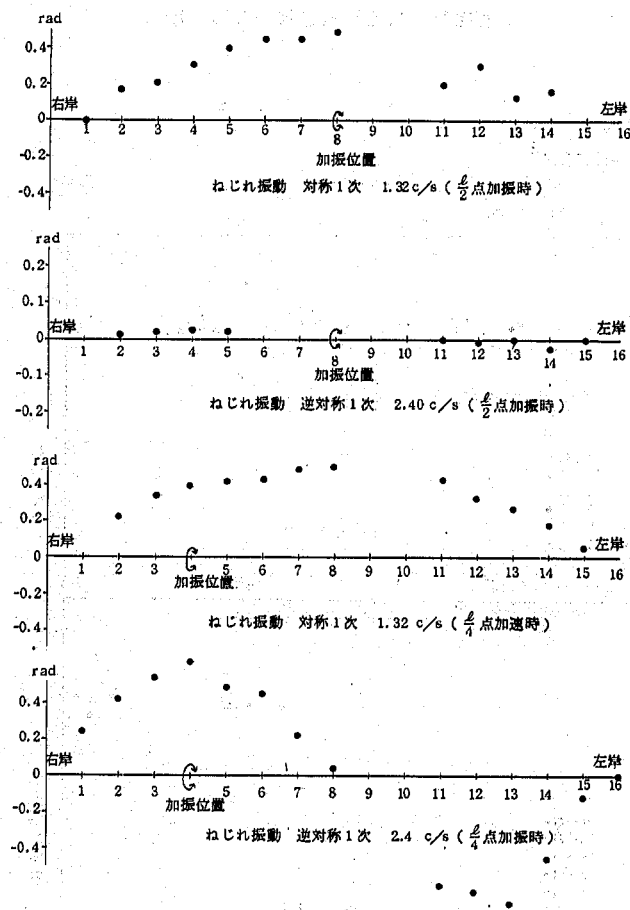


図-6.2 振動波形, ねじれ振動

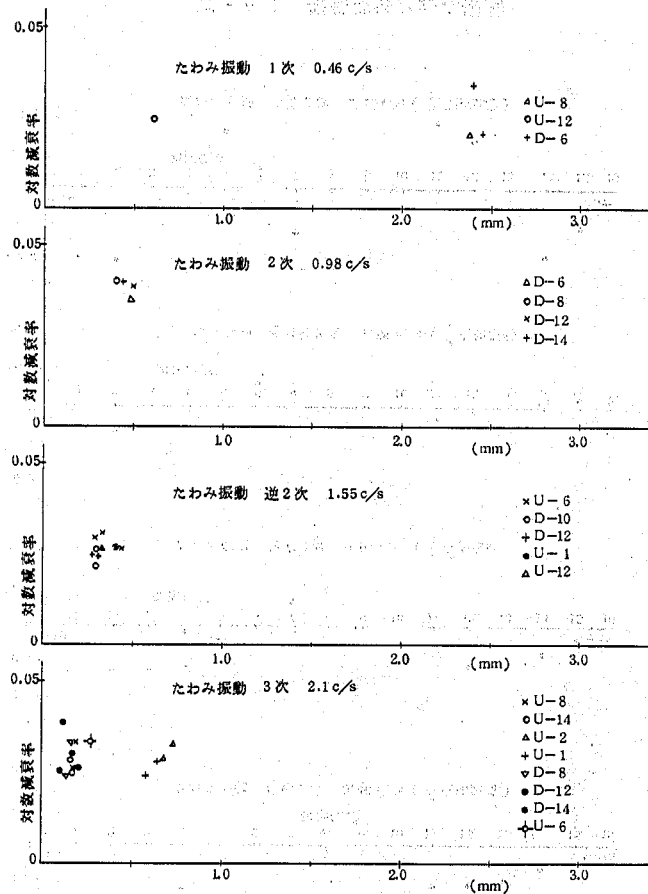


図-7.1 対数減衰率たわみ振動

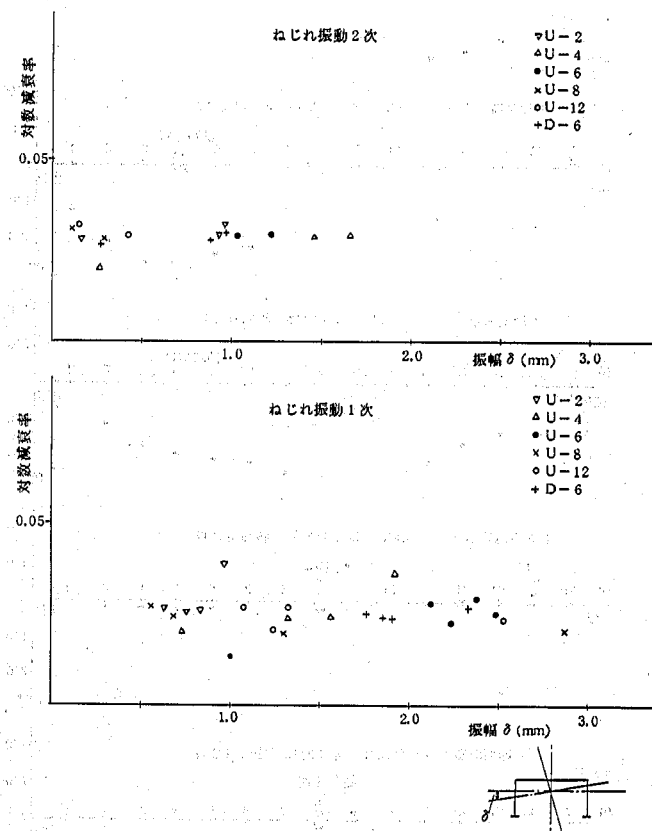


図-7.2 対数減衰率ねじれ振動

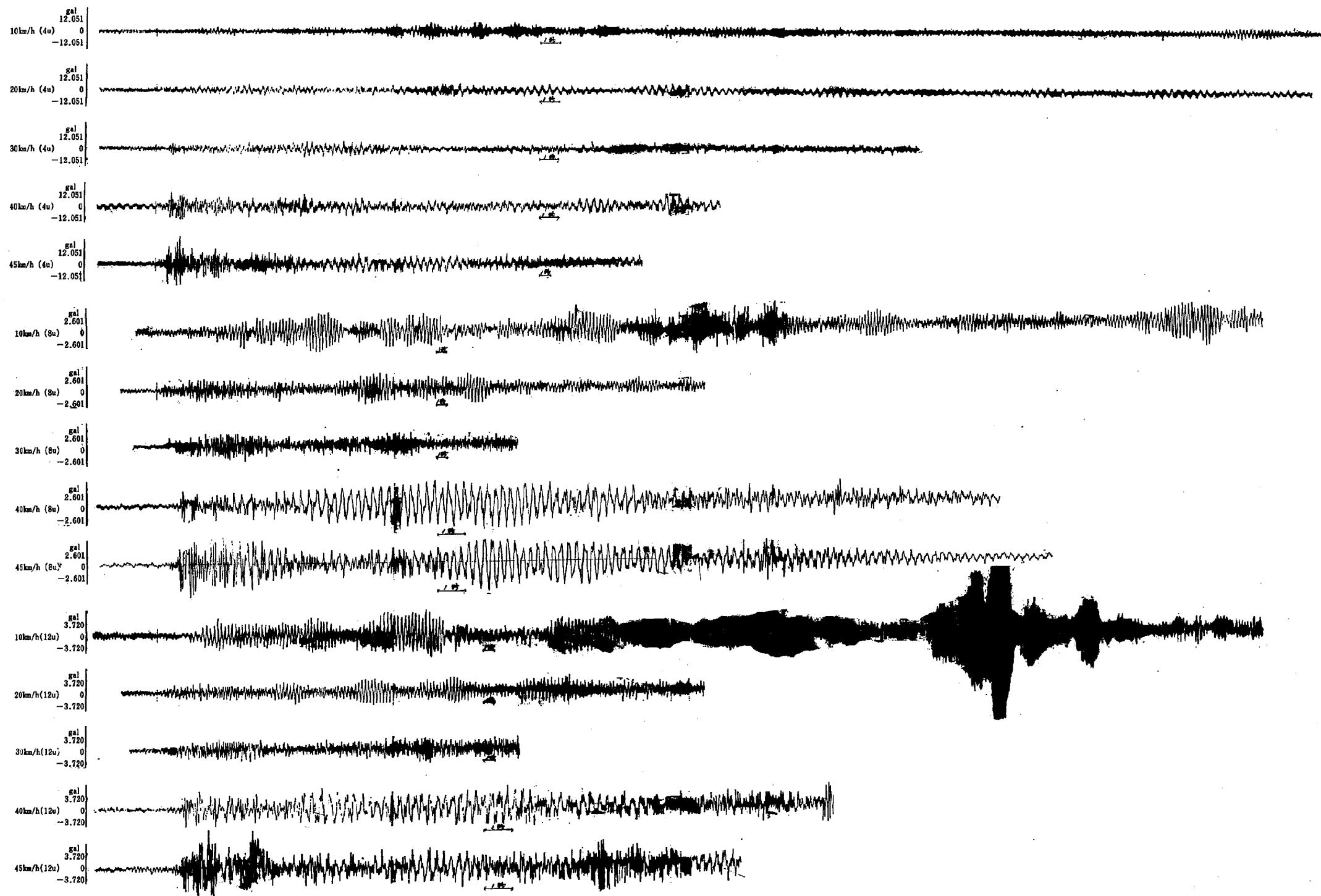


図-8 車両走行による応答加速度(実験値)

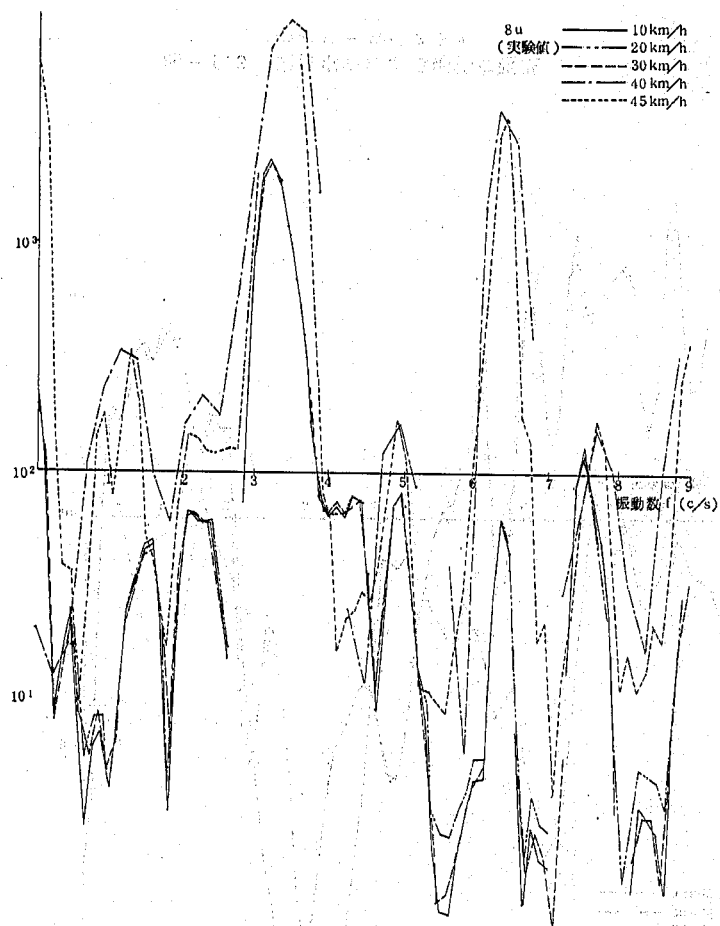


図-9.1 走行車両による応答加速度
のパワースペクトル

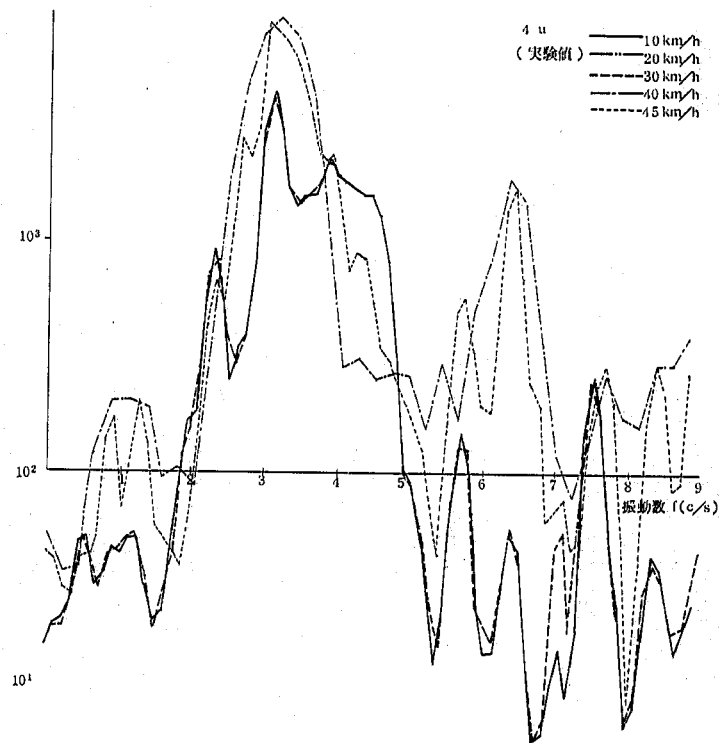


図-9.2 走行車両による応答加速度
のパワースペクトル

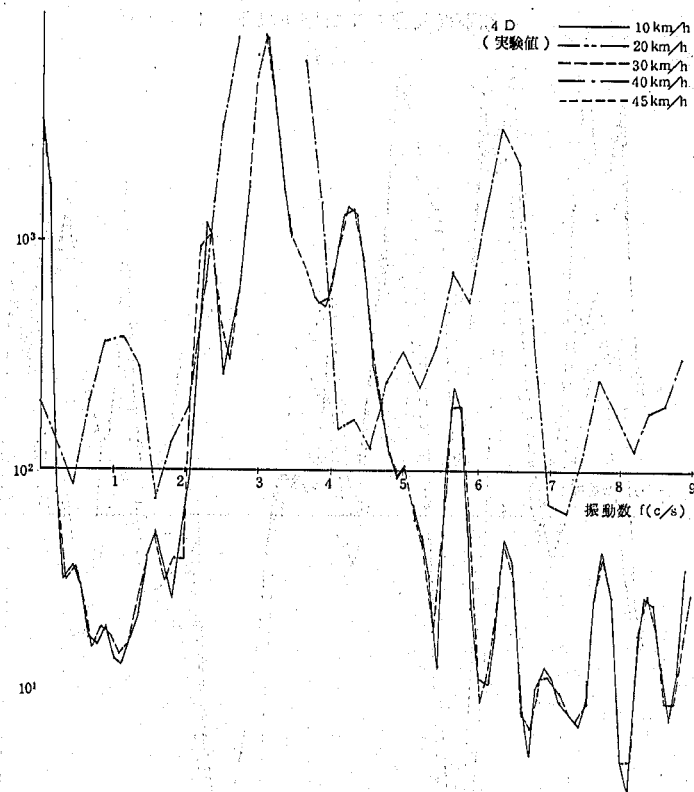


図-9.3 走行車両による応答加速度
のパワースペクトル

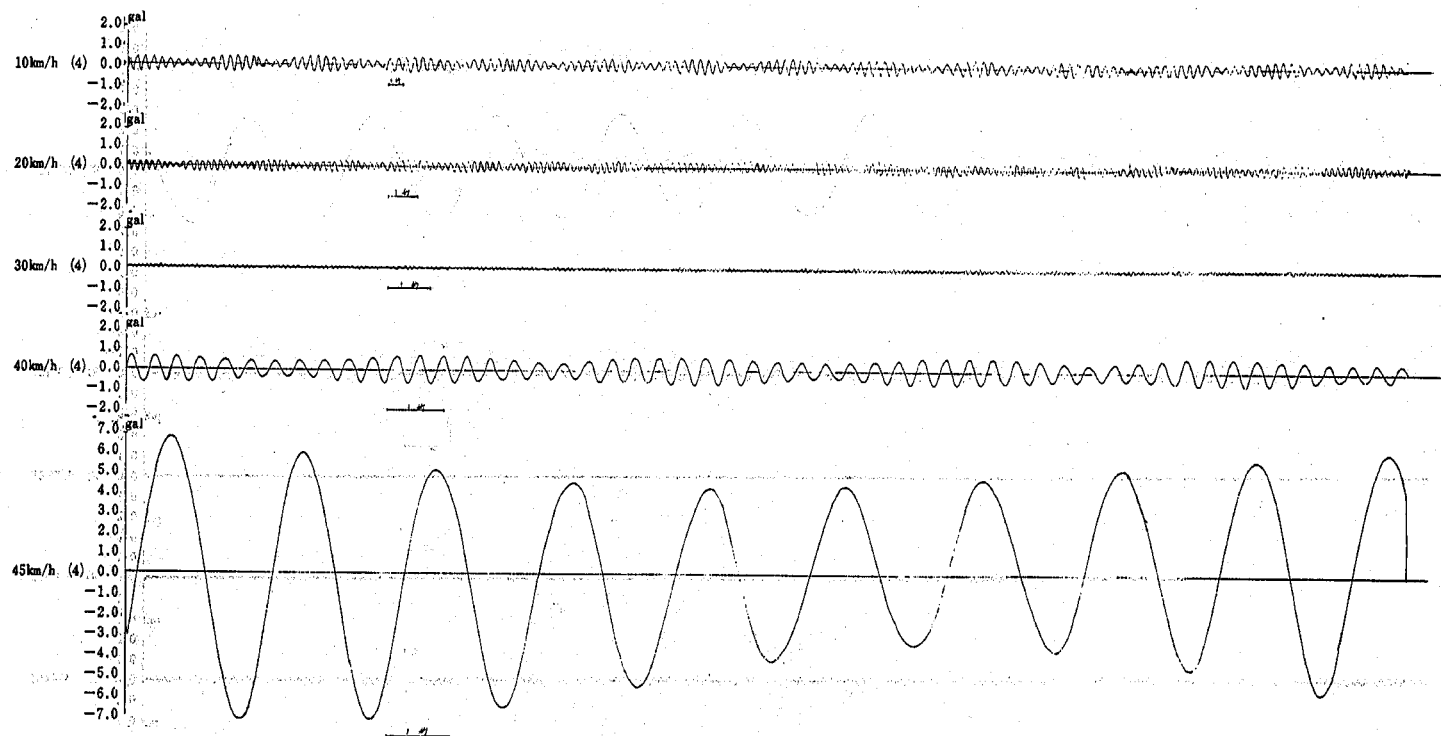


図10-1 車両走行による応答加速度(計算値)

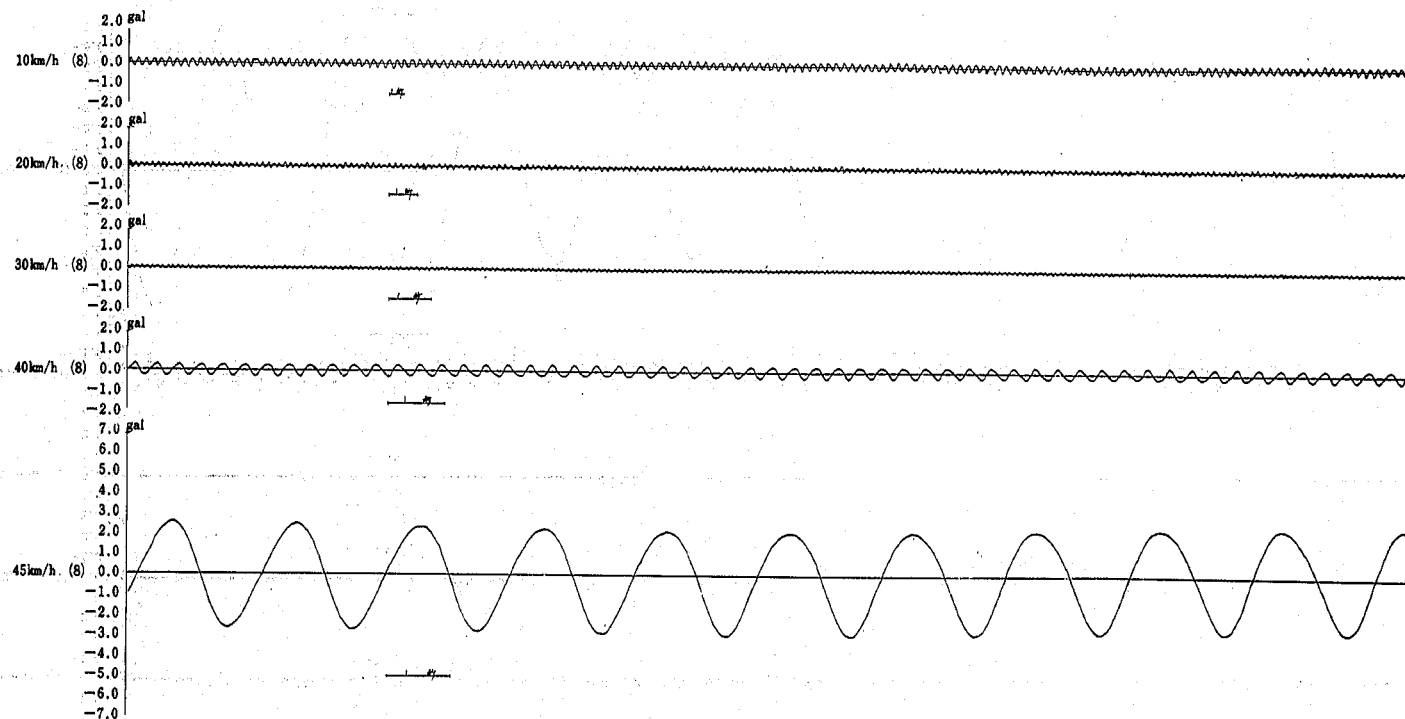


図10-2 車両走行による応答加速度(計算値)

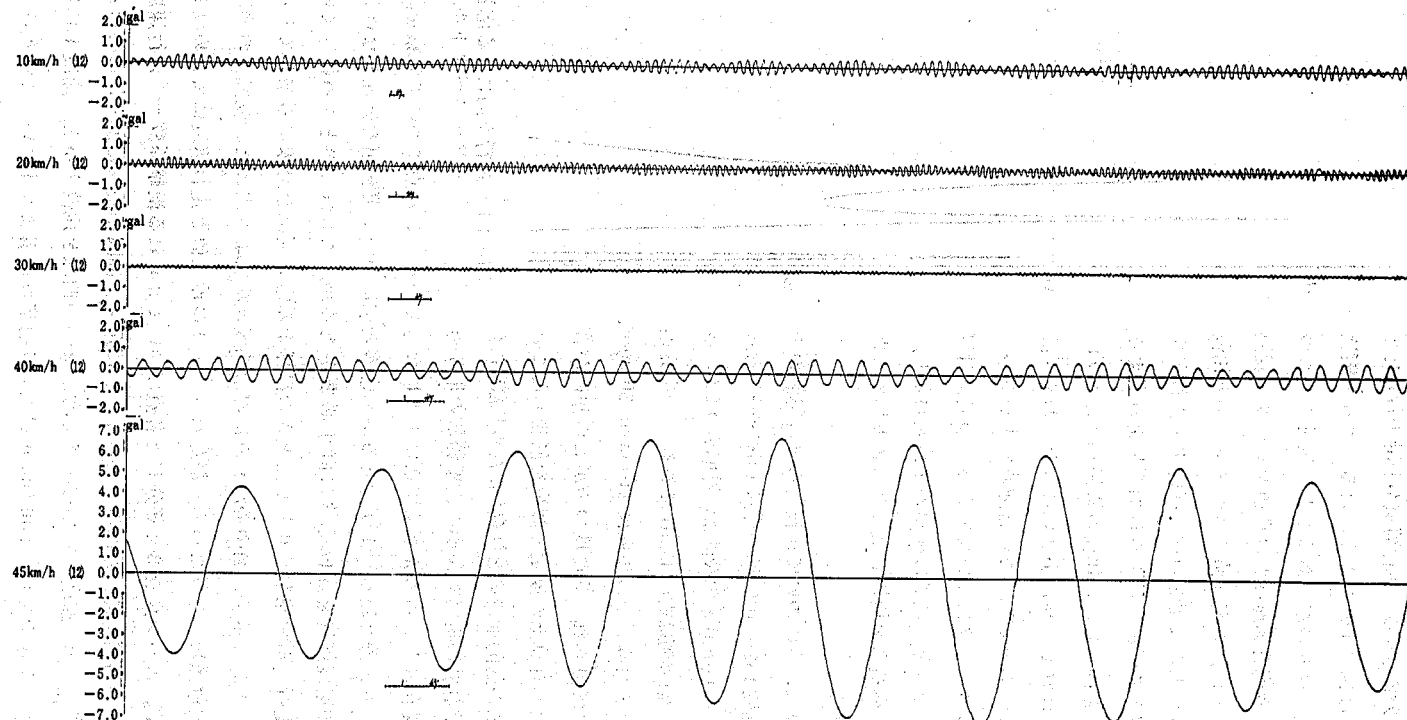


図 1-0-3 車両走行による応答加速度(計算値)

次に計算値と対応させる。連行荷重が平滑走行したときの応答加速度は図-10 のようになる。これと実験値を比較するとかなりの差のあることに気付く。この原因を調べるため応答加速度の計算値をフーリエ変換した結果(図-11)と実験値のスペクトル図と比較する。こゝで計算上の仮定をのべれば①平滑走行とする②減衰を無視する③荷重による付加質量を無視する。である。図-9と図-11の比較の結果0.5c/sのピークが実験値ではひじょうに小さいにもかゝらず計算上は大きなピークがでる。これと逆の結果が3c/sおよび6.5c/sのピークについていえる。前者は計算上減衰を無視したこと、後者は荷重の平滑走行とし、自動車系の動的構造系を無視したことにより出てきたものと考えられる。

応答加速度の大きさについて比較すると計算値の方が小さい。走行速度45km/hで計算上約7gal~~スペクトルを大~~れる実験値で約7~10galと比較的よい対応がつくが、走行速度10km/hで計算値は約0.39galである。一方実験値では約3galとなる。この傾向は20km/h, 30km/h, 40km/hにおいて見られ、低速度の方がこの傾向が著しい。この原因は計算上の仮定で減衰を無視したことよりも自動車系の動的構造系を無視したためと思われる。

次に吊橋の設計特に道路橋吊橋の衝撃係数の取り方

については、現在のところ考えなくてよいことになっている。この点について考察を試みる。衝撃係数は(動たわみ/静たわみ-1)であるから応答変位について実験値を整理しなければならない。そのためには加速度応答を変位応答に直す必要があるが、これは今のところ終っていない。そこで以下は平滑走行、減衰定数=0としたときの計算上の応答変位を対象に考察してみる。応答変位の計算値を図-12に示す。図中静たわみは線形撓度理論により求めた。数式上の展開は付-1に示す。これを衝撃係数=(動たわみ/静たわみ-1)の最大値と走行速度にまとめ直した結果を図-13.1に示す。スパン長を32等分した各点についてえられる衝撃係数—走行速度の関係を重ね合せ、さらに包絡線を描いた結果を図-13.2に示す。同図中破線により伊藤の得た衝撃係数の包絡線 $i = \frac{\alpha}{1-\alpha}$, α ; 速度パラメーターを示す⁵⁾。2つの曲線を比較すると、速度100km/h以下では前者は後者より大きくなり、100km/h以上では前者は後者より小さい。この差は、前者の計算では連行荷重としているものが、後者では単一荷重としていることによるものと思われる。

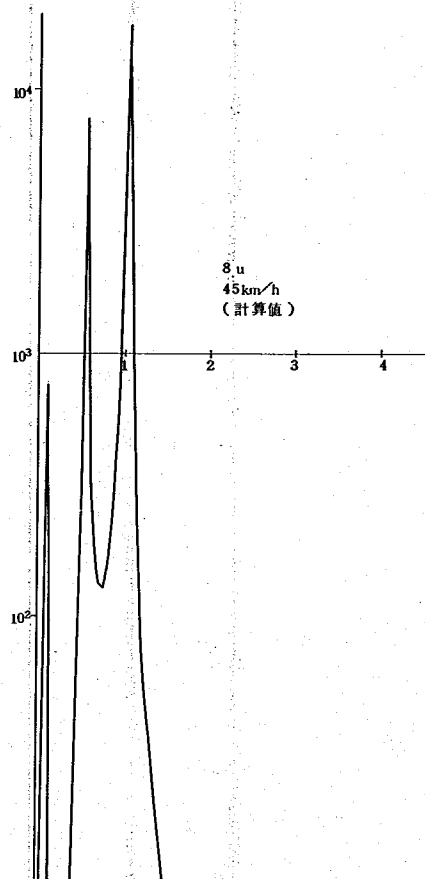


図-11 走行車両による応答加速度の
パワースペクトル

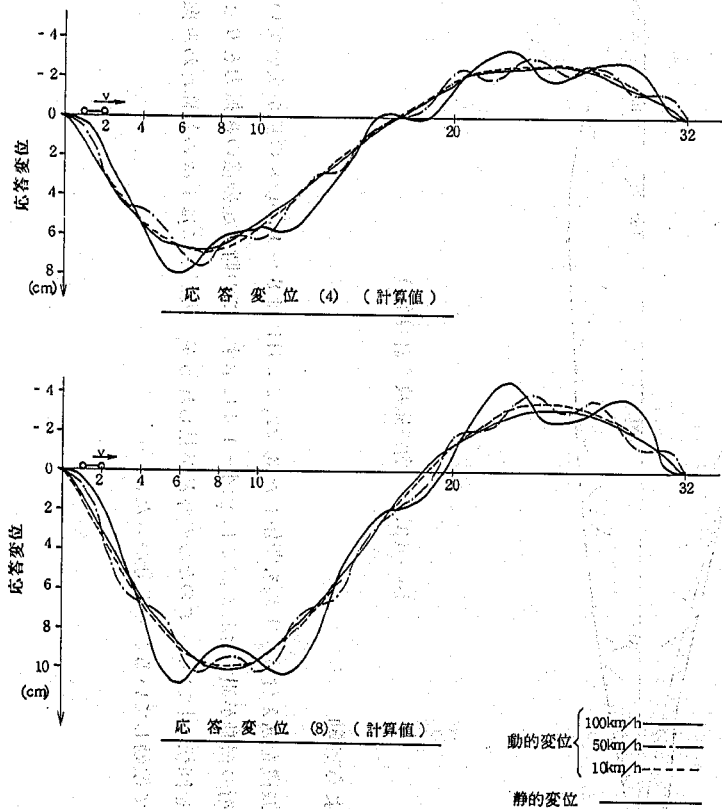


図-12.1 走行車両による応答変位

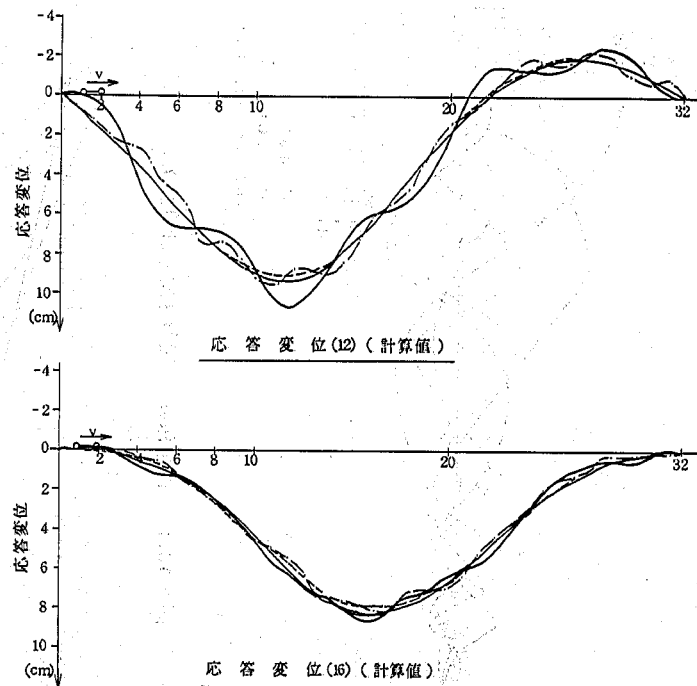


図-12.2 走行車両による応答変位

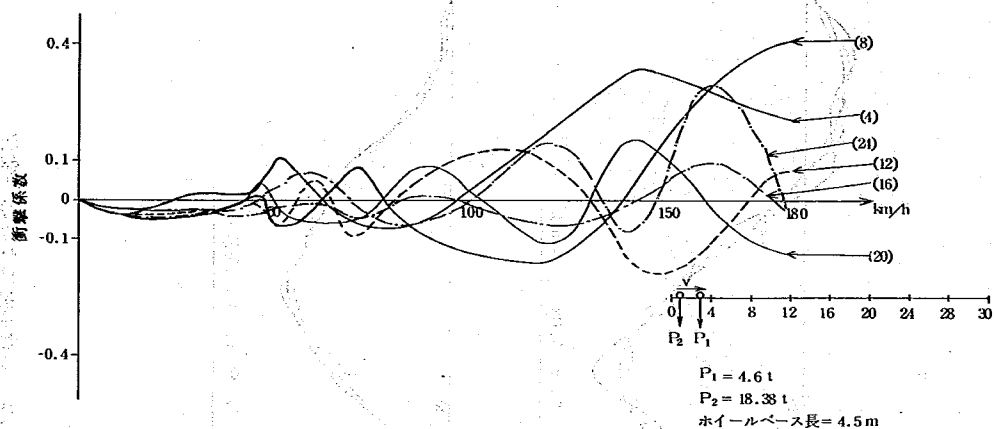


図-13.1 衝撃係数—走行速度(計算値)

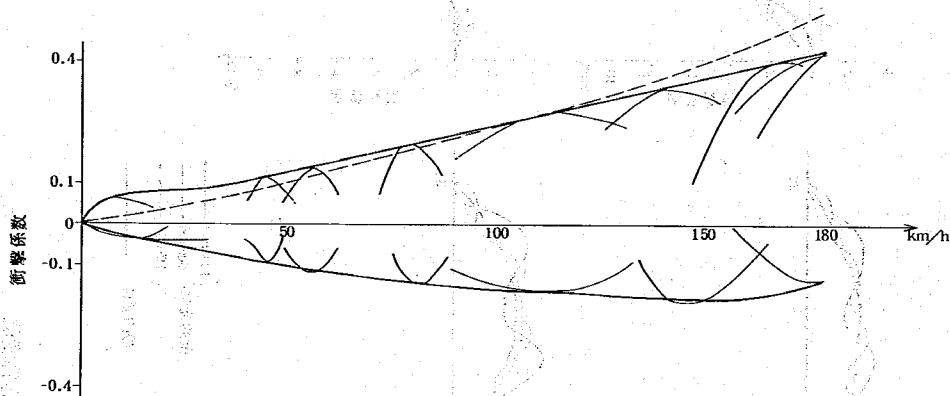


図-13.2 衝撃係数(計算値)

4.5 風による振動

1/2点に起振機を据え付け、実験を開始した3/22, 23日には8~12m/sの風が吹いていた。この風により桁の振動が観測された。これを図-14に示す。この時の起振機の起振力を0としてモーターだけを回転させていた。このための外乱が見られるが、大局的には1次の対称たわみ振動数に近いところで振動していることが分かった。

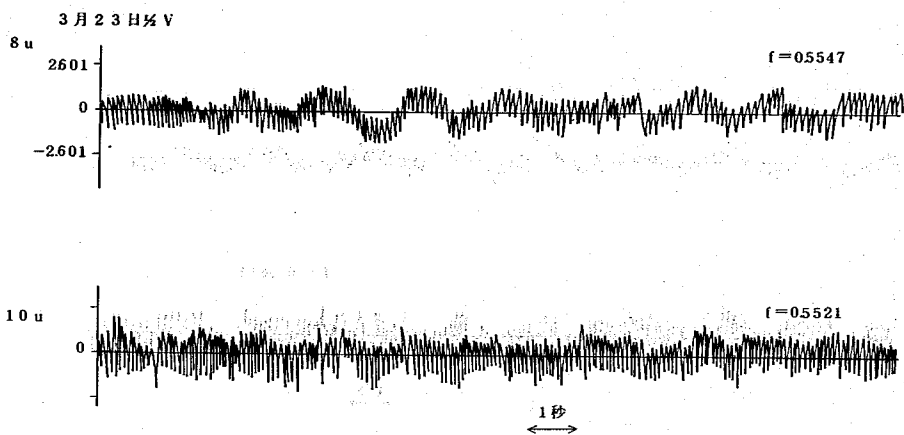


図-14.1 風による加速度応答

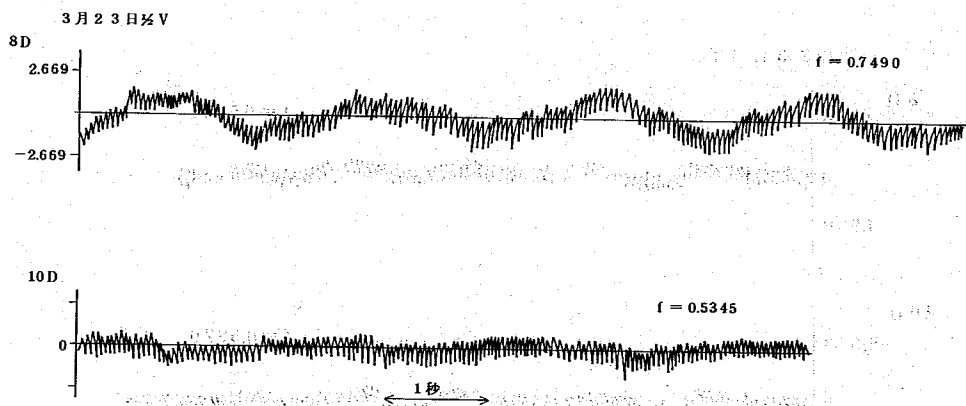


図-14.2 風による加速度応答

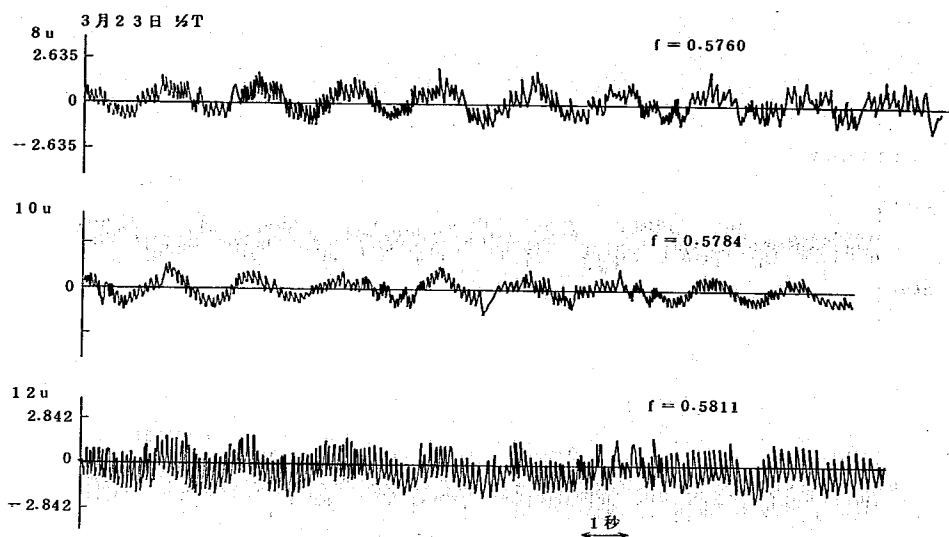


図-14.3 風による加速度応答

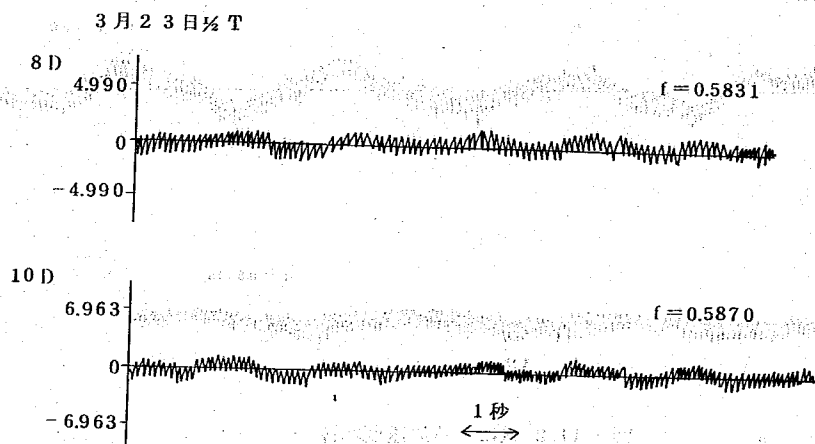


図-14.4 風による加速度応答

5. 結 論

今回の実験から次のようなことがいえる。

1. 起振機による振動実験 最大振動数 2.5 c/s までの範囲で実験をおこなった結果

- (1) 固有振動数について：たわみ振動の対称 1 次 0.46 c/s, 対称 2 次 0.98 c/s, 逆対称 2 次 1.55 c/s, 対称 3 次 2.10 c/s の値をえた。ねじれ振動は対称 1 次で 1.32 c/s, 逆対称 1 次で 2.30 c/s の値をえた。これらはいずれもエネルギー法による計算で精度よく推定しうる値であることを確認した。
- (2) 減衰率について：ねじれ振動の対数減衰率がたわみ振動の対数減衰率より若干小さい程度であり、それぞれ 0.027 と 0.030 程度と考えることができる。

2. 車両による走行実験

- (1) 実験によりえられる加速度応答を推定するため平滑走行, 減衰 = 0 としたときの加速度応答を求めた結果, 両者の間にはかなりの差があることが分かった。この差は, スペクトル分析の結果次のような原因によるものと推定される。

- ① 0.5 c/s 付近で実験値のピークはひじょうに小さいにも拘わらず計算上大きなピークが出る。これは減衰 = 0 と仮定したことによるものと思われる。
- ② 3 c/s および 6.5 c/s 付近で実験値は大きなピークをもつにも拘わらず, 計算上はピークが出ない。これは自動車系の動的影響を無視したことによるものと思われる。

従って, 実験値を十分説明できる計算法としては, 適当な減衰と, 自動車系の影響を含めた計算をおこなう必要があることが分かった。実験値を十分説明しうる計算方法が確定できれば, 伝達関数から入力と出力を結ぶ Wiener-Khinchin の式により入力である動的荷重の周波数特性を知ることができる。

- (2) 衝撃係数について実験値と計算値の対応をおこなう予定であった。しかしながら, 実験値の加速度応答を変位応答に変換する段階で良い結果をうることができず実験値と計算値の対応はできなかった。しかしながら低速度 (10 km/h) においても計算値をかなり上まわる加速度を記録したことは注目されるべき事項であった。

6. あ と が き

今回の実験は水資源開発公団、本州四国連絡橋公団ならびに本橋の製作、架設にあたった宮地鉄工所、横河橋梁の協力を得て実施したものである。ここに関係者の方々に感謝の意を表する次第である。

また、本実験の実施、データの解析には下記の研究員、研究室員の協力によってなされたことを付記し、感謝に代えることにしたい。

構造研究室 主任研究員 榎波 義 幸

研 究 員 横 山 功 一

倉 繁 敏 (現在群馬県庁勤務)

奥 繁 実

檀 浦 満 郎 (現在四国地建勤務)

山 崎 賢 一 (現在長野県庁勤務)

石 川 泉

近 江 幸 雄

宮 沢 宏

水 口 辰 夫

参 考 文 献

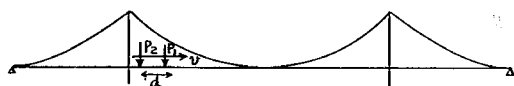
1. Bleich, F. et al ; The mathematical theory of vibration in suspension bridges.
2. 大久保 成田 ; 箱ヶ瀬橋振動実験報告書, 建設省土木研究所, 土研資料No.458, 昭44.2
3. Okubo and Narita ; An experimental study of dynamic characteristics of the Kompira Bridge, Public Works Research Institute, Ministry of Construction, T.N. of P.W.R. I. No.553, 1969.12
4. 田中, 磯部 ; 上吉野川橋の平行線ケーブル架設調査と長大吊橋の架設歩掛りの調査, 建設省土木研究所, 土研資料No.654, 昭和46年3月。
5. 伊藤学 ; 走行荷重に対する吊橋の動的応答と衝撃, 土木学会論文集No.149, 昭43.1
6. 山田, 小堀 ; 活荷重に対する道路橋の応答, 土木学会論文集No.148, 昭42.12

付 録 ー 1

○ 単一車両走行による吊橋の応答

○

走行荷重に対する吊橋の応答を解析により求める。力学モデルとして次のようなモデルを考える。
線形撓度理論により前輪による応答と後輪による応答を重ね合わせ、その結果を車両による応答とする。今単径間吊橋を対象とすると、変位 η 、加速度 $\ddot{\eta}$ は次のようになる。



P_1 ; 前輪々荷重

P_2 ; 後輪 "

d ; ホイールベース長

v ; 車 速

$$\begin{aligned} \eta = & \frac{2P_1}{ml} \left[\sum_{1,3} \frac{\sin \frac{\pi x}{l} + C_r \sin \frac{3\pi x}{l}}{w_r^2(1+C_r^2)} \left(\frac{\sin \varphi_1 t - \frac{\varphi_1}{w_r} \sin w_r t}{1-(\varphi_1/w_r)^2} + C_r \frac{\sin \varphi_3 t - \frac{\varphi_3}{w_r} \sin w_r t}{1-(\varphi_3/w_r)^2} \right) \right. \\ & \left. + \sum_{2,4,5,6,\dots} \frac{\sin \frac{r\pi x}{l}}{w_r^2(1-(\varphi_r/w_r)^2)} \left(\sin \varphi_r t - \frac{\varphi_r}{w_r} \sin w_r t \right) \right] + \frac{2P_2}{ml} \left[\sum_{1,3} \frac{\sin \frac{\pi l-x}{l} + C_r \sin \frac{3\pi l-x}{l}}{w_r^2(1+C_r^2)} \right. \\ & \left(\frac{\sin \varphi_1(t-\frac{d}{v}) - \frac{\varphi_1}{w_r} \sin w_r(t-\frac{d}{v})}{1-(\varphi_1/w_r)^2} + C_r \frac{\sin \varphi_3(t-\frac{d}{v}) - \frac{\varphi_3}{w_r} \sin w_r(t-\frac{d}{v})}{1-(\varphi_3/w_r)^2} \right) \\ & \left. + \sum_{2,4,5,6,\dots} \frac{\sin \frac{r\pi l-x}{l}}{w_r^2(1-(\varphi_r/w_r)^2)} \left(\sin \varphi_r(t-\frac{d}{v}) - \frac{\varphi_r}{w_r} \sin w_r(t-\frac{d}{v}) \right) \right] \\ \ddot{\eta} = & \left[\frac{2P_1}{ml} \sum_{1,3} \frac{\sin \frac{\pi x}{l} + C_r \sin \frac{3\pi x}{l}}{1+C_r^2} \left(\frac{\sin \varphi_1 t - \frac{w_r}{\varphi_1} \sin w_r t}{1-(w_r/\varphi_1)^2} + C_r \frac{\sin \varphi_3 t - \frac{w_r}{\varphi_3} \sin w_r t}{1-(w_r/\varphi_3)^2} \right) \right. \\ & \left. + \sum_{2,4,5,6,\dots} \frac{\sin \frac{r\pi x}{l}}{1-(w_r/\varphi_r)^2} \left(\sin \varphi_r t - \frac{w_r}{\varphi_r} \sin w_r t \right) \right] + \frac{2P_2}{ml} \left[\sum_{1,3} \frac{\sin \frac{\pi l-x}{l} + C_r \sin \frac{3\pi l-x}{l}}{1+C_r^2} \right. \\ & \frac{\sin \varphi_1(t-\frac{d}{v}) - \frac{w_r}{\varphi_1} \sin w_r(t-\frac{d}{v})}{1-(w_r/\varphi_1)^2} + C_r \frac{\sin \varphi_3(t-\frac{d}{v}) - \frac{w_r}{\varphi_3} \sin w_r(t-\frac{d}{v})}{1-(w_r/\varphi_3)^2} \\ & \left. + \sum_{2,4,5,6,\dots} \frac{\sin \frac{r\pi l-x}{l}}{1-(w_r/\varphi_r)^2} \left(\sin \varphi_r(t-\frac{d}{v}) - \frac{w_r}{\varphi_r} \sin w_r(t-\frac{d}{v}) \right) \right] \end{aligned}$$

$$\text{たゞし } \frac{d}{v} < l < \frac{l}{v}$$

$0 \leq l < \frac{d}{v}$ のときは上式の第1項 (P_1 に関する項)のみを取る。

$\frac{l}{v} < l \leq \frac{l+d}{v}$ のときは上式の第2項 (P_2 に関する項)のみを取る。

こゝで $\varphi_r = \frac{r\pi v}{l}$, $C_r = \frac{A}{3B}$, $A = sw^2 - Hw - \lambda$, $B = sw^2 - 9Hw - 81\lambda$

$$s = \frac{wl^2}{g\pi^2}, \quad \lambda = \frac{\pi^2 EI}{l^2}, \quad m = \frac{w}{g}$$

w ; 吊橋の単位長さあたりの重量

l ; 支間長

I ; 補剛桁の断面2次モーメント

Hw ; 死荷重によるケーブル張力の水平成分

次に上式の誘導に際し使用した仮定を次にのべる。

- 1) 車両は定速平滑走行する。
- 2) 減衰は小さいものとし、減衰に関する項を省略する。
- 3) たわみ振動のみを考える。
- 4) 車両の付加質量は考えない。

なお、実際の計算にあたっては振動波形の4次までを考えて計算をおこなった。

単径間吊橋の固有値プログラム

```

begin
  comment EIGEN FREQUENCY OF A SINGLE-SPAN SUSPENSION BRIDGE WITH UNLOADED BACKSTAY;
  real LE,LK,LR,FR,F,BL1,BL2,BH1,BH2,AC,A,W,WC,B,DEP,PN,C,AV,AH,MR,EC;
  real XXA5,XXA6,NFA1,NFA2,NFA3,NFA4,NFA5,NFA6,PERA1,PERA2,PERA3,PERA4,PERA5,PERA6,AMP1,AMP2,AMP3,AMP4,AMP5,AMP6,AMP11,
  AMP13,HV,PN,NH,B,C,BE,AV,AH,EV,EH,Y,MR,WSR,WST,WC,SS,LGAMMA,KK,RR,A2,B2,C2,BR,XT1,XT2,XT3,XXT1,XXT2,XXT3,NFT1,
  NFT2,NFT3,PERT1,PERT2,PERT3,AMPT11,AMPT13,TOKU,TOKU1,IEC;
  real XA7,XA8,XA9,XA10,XA11,XA12;
  read XXA7,XXA8,XXA9,XXA10,XXA11,XXA12,NFA7,NFA8,NFA9,NFA10,NFA11,NFA12;
  integer n;

- 10-
  START:
  READ(LK,LR,FR,BL1,BL2,BH1,BH2,AC,A,W,WC,B,DEP,PN,C,AV,AH,MR,EC);
  IF LK=0 THEN GO TO END2;
  F=FR*(LK/LR)*T2;
  LE=LK*(0.25*(2.5+16.0*(F/LK)*T2)*SQRT(1.0+16.0*(F/LK)*T2));
  OUT1(6, 'LE='2B-4Z.3D3B/,LE);
  TOKU=(SQRT(1.0+16.0*(F/LK)*T2)+4.0*F/LK)/(SQRT(1.0+16.0*(F/LK)*T2)-4.0*F/LK);
  OUT1(6, 'TOKU='2B-4Z.3D3B/,TOKU);
  TOKU1=LN(TOKU);
  OUT1(6, 'TOKU1='2B-4Z.3D3B/,TOKU1);

- 20-
  LE=LE+LK*3.0*LK/(64.0*F)*TOKU1;
  LE=LE+BL1*(SQRT(BL1*T2+BH1*T2)/BL1)*T3+BL2*(SQRT(BL2*T2+BH2*T2)/BL2)*T3;
  OUT1(6, 'LE='2B-4Z.3D3B/,LE);
  P=3.1416*LK*LE/(16.0*F*EC*AC);
  OUT1(6, 'P='2B-4Z.3D3B/,P);
  S=W*LR*T2/(9.8*3.1416*T2);
  OUT1(6, 'S='2B-4Z.3D3B/,S);
  READ(I);
  LAMDA=3.1416*T2*2.1*10.0*T1/LRT2;
  OUT1(6, 'LAMDA='2B-8Z.8D3B/,LAMDA);

- 30-
  OUT1(6, 'I='2B-8Z.8D3B/,I);
  OUT1(6, 'LP='2B-8Z.8D3B/,LP);
  K=32.0*FR/3.1416*T3;
  OUT1(6, 'K='2B-4Z.3D3B/,K);
  HW1=W*LP*T2/(8.0*FR);
  OUT1(6, 'HW1='2B-4Z.3D3B/,HW1);
  A1=9.0*P*S*T2;
  OUT1(6, 'A1='2B-9Z.3D3B/,A1);
  B1=(-1.0)*(K*S+9.0*(S*(K+P*HW1+P*LAMDA)+P*S*(9.0*HW1+81.0*LAMDA)));
  OUT1(6, 'B1='2B-9Z.3D3B/,B1);

- 40-
  C1=9*P*(HW1+LAMDA)*(9*HW1+81*LAMDA)+K/9/P*(HW1+LAMDA)+K/P*(9*HW1+81*LAMDA);
  OUT1(6, 'C1='2B-9Z.3D3B/,C1);
  WS=W-WC;
  OUT1(6, 'WS='2B-4Z.3D3B/,WS);
  EJECT;
  OUT0(6, '5/3B' CALCULATION OF EIGEN FREQUENCY OF SUSPENSION BRIDGE WITH UNLOADED BACKSTAY');
  OUT6(6, 'LE='2B-4Z.3D3B/,P='2B-4Z.3D3B/,S='2B-4Z.3D3B/,B1='2B-4Z.3D3B/,A1='2B-4Z.3D3B/,C1='2B-4Z.3D3B/,LE,P,S,B1,A1,C1);
  OUT0(6, '5/3B' DIMENSION OF SUSPENSION BRIDGE');
  OUT1(6, '10B' LENGTH OF MAIN SPAN ..... '2B-4Z.1D9B/,M, '2/' ,LK);
  OUT1(6, '10B' LENGTH OF THEORETICAL SPAN ..... '2B-4Z.1D9B/,M, '2/' ,LR);

- 50-

```

```

OUT1(6,'10B'CALE SAG IN THEORETICAL SPAN ..... '28-4Z.1D9B,'M.'2/'',FR);
OUT1(6,'10B'CROSS SECTIONAL AREA OF THE CABLE ..... '58-1Z.3D7B,'MT2./BRIDGE'2/'',AC);
OUT1(6,'10B'DISTANCE OF STIFFENING GIRDER ..... '48-2Z.2D8B,'M.'2/'',B);
OUT1(6,'10B'DEPH OF STIFFENING GIRDER ..... '48-2Z.2D8B,'M.'2/'',DEP);
OUT1(6,'10B'DEAD WEIGHT OF SUSPENSION BRIDGE ..... '48-2Z.3D7B,'TON/M./BRIDGE'2/'',W);
OUT1(6,'10B'DEAD WEIGHT OF THE CABLE ..... '48-2Z.3D7B,'TON/M./BRIDGE'2/'',WC);
OUT1(6,'10B'DEAD WEIGHT OF SUSPENDED STRUCTURE ..... '48-2Z.3D7B,'TON/M./BRIDGE'2/'',WS);
OUT1(6,'10B'HORIZONTAL COMPONENT OF CABLE TENSION ..... '8-5Z.2D8B,'TON/BRIDGE'2/'',HW1);
EJECT;
CRLF(10);

```

```

OUTO(6,'5B'VERTICAL VIBRATION'');
IF B1T2-4.0*A1*C1<0.0 THEN
  BEGIN OUTO(6,'100B'IMAGINARY SOLUTION''); GO TO END END
ELSE
  XA1=(-1.0*B1-SQRT(B1T2-4.0*A1*C1))/(2.0*A1);
  XA3=(-1.0*B1+SQRT(B1T2-4.0*A1*C1))/(2.0*A1);
  CRLF(2);
  IF XA3<0.0 THEN
    BEGIN OUTO(6,'100B'IMAGINARY SOLUTION''); GO TO END END
  ELSE

```

```

OUTO(6,'100B'REAL SOLUTION'');
XA2=9.8*3.1416T2*4.0*(HW1+4.0*LAMDA)/(W*LRT2);
XA4=16.0*3.1416T2*9.8*(HW1+16.0*LAMDA)/(LRT2*W);
XA5=(25.0*HW1+625.0*LAMDA+K/(25.0*P))/S;
XA6=36.0*3.1416T2*9.8*(HW1+36.0*LAMDA)/(LRT2*W);
XXA1=SQRT(XA1); XXA2=SQRT(XA2); XXA3=SQRT(XA3); XXA4=SQRT(XA4); XXA5=SQRT(XA5); XXA6=SQRT(XA6);
NFA1=XXA1/6.2832; NFA2=XXA2/6.2832; NFA3=XXA3/6.2832; NFA4=XXA4/6.2832; NFA5=XXA5/6.2832; NFA6=XXA6/6.2832;
XA7=(49.0*HW1+2401.0*LAMDA+K/(49.0*P))/S;
XA9=(81.0*HW1+6561.0*LAMDA+K/(81.0*P))/S;
XA11=(121.0*HW1+14641.0*LAMDA+K/(121.0*P))/S;

```

```

XA8=64.0*3.1416T2*9.8*(HW1+64.0*LAMDA)/(LRT2*W);
XA10=100.0*3.1416T2*9.8*(HW1+100.0*LAMDA)/(LRT2*W);
XA12=144.0*3.1416T2*9.8*(HW1+144.0*LAMDA)/(LRT2*W);
XXA7=SQRT(XA7); XXA8=SQRT(XA8); XXA9=SQRT(XA9); XXA10=SQRT(XA10); XXA11=SQRT(XA11); XXA12=SQRT(XA12);
NFA7=XXA7/6.2832; NFA8=XXA8/6.2832; NFA9=XXA9/6.2832; NFA10=XXA10/6.2832; NFA11=XXA11/6.2832; NFA12=XXA12/6.2832;
PERA1=1.0/NFA1; PERA2=1.0/NFA2; PERA3=1.0/NFA3; PERA4=1.0/NFA4; PERA5=1.0/NFA5; PERA6=1.0/NFA6;
AMP1=1.0;
AMP2=0.0;
AMP4=0.0;
AMP5=0.0;

```

```

AMP6=0.0;
AMP11=(S*XA1-HW1-LAMDA)/(3.0*(S*XA1-9.0*HW1-81.0*LAMDA));
AMP13=(S*XA3-HW1-LAMDA)/(3.0*(S*XA3-9.0*HW1-81.0*LAMDA));
CRLF(5);
OUTO(6,'44B'FREQUENCY AND PERIOD'23B'MODE OF VIBRATION'2/'');
OUTO(6,'37B'CIRC.FREQ.'3B'NATU.FREQ.'3B'PERIOD'23B'MAJN.SPAN'2/'');
OUT5(6,'18B'1STSYMODE'10B-2Z.6D3B,-1Z.6D3B,-2Z.4D9B,10B-1Z.4D3B,-1Z.5D/'',XXA1,NFA1,PERA1,AMP1,AMP11);
OUT5(6,'18B'2NDSYMODE'10B-2Z.6D3B,-1Z.6D3B,-2Z.4D9B,10B-1Z.4D3B,-1Z.5D/'',XXA3,NFA3,PERA3,AMP1,AMP13);
OUT5(6,'18B'3RDSYMODE'10B-2Z.6D3B,-1Z.6D3B,-2Z.4D9B,10B-1Z.4D3B,-1Z.5D/'',XXA5,NFA5,PERA5,AMP1,AMP5);
OUT2(6,'18B'4THSYMODE'10B-2Z.6D3B,-2Z.6D/'',XXA7,NFA7);

```

```

OUT2(6,'18B'5THSYMODE'10B-2Z.6D3B,-2Z.6D/' ,XXA9,NFA9);
OUT2(6,'18B'6THSYMODE'10B-2Z.6D3B,-2Z.6D2/' ,XXA11,NFA11);
OUT5(6,'18B'1STASYMODE'9B-2Z.6D3B,-1Z.6D3B,-2Z.4D9B,10B-1Z.4D3B,-1Z.5D/' ,XXA2,NFA2,PERA2,AMP1,AMP2);
OUT5(6,'18B'2NDASYMODE'9B-2Z.6D3B,-1Z.6D2B,-2Z.4D9B,10B-1Z.4D3B,-1Z.5D/' ,XXA4,NFA4,PERA4,AMP1,AMP4);
OUT5(6,'18B'3RDASYMODE'9B-2Z.6D3B,-1Z.6D3B,-2Z.4D9B,10B-1Z.4D3B,-1Z.5D7/' ,XXA6,NFA6,PERA6,AMP1,AMP6);
OUT2(6,'18B'4THASYMODE'9B-2Z.6D3B,-2Z.6D/' ,XXA8,NFA8);
OUT2(6,'18B'5THASYMODE'9B-2Z.6D3B,-2Z.6D/' ,XXA10,NFA10);
OUT2(6,'18B'6THASYMODE'9B-2Z.6D3B,-2Z.6D2/' ,XXA12,NFA12);
OUT0(6,'10B'TORSIONAL VIBRATION'2/');
NV=(SQRT(DEPT2+PNT2))†3/(DEPT2*PN);

```

- 110-

```

NH=(SQRT(B†2+C†2))†3/(RT2*C*2.0);
BE=B*DEP/(NV*DEPT2/AV+NH*BT2/AH);
EV=0.5*R-NV*BE*DEP/AV;
EH=0.5*DEP-NH*HE*B/AH;
Y=0.5*A*(DEPT2*EV†2+B†2*EH†2);
MR=MR+WC*B†2/(4.0*9.8);
SS=MR*LR/4.0;
LGAMMA=7.1*10.0†7*Y*3.1416†4/(2.0*LR†3);
KK=2.0*10.0†7*AC*32.0*FRT2*B†2/(LE*3.1416†2*LR†2);
RR=(2.1*10.0†7*BE*B*DEP+0.5*HW1*B†2*0.25)*3.1416†2*0.5/LR;

```

- 120-

```

A2=9.0*SS†2;
B2=-1.0*SS*(9.0*(82.0*LGAMMA+10.0*RR+KK)+KK);
C2=9.0*(81.0*LGAMMA+9.0*RR)*(LGAMMA+RR+KK)+KK*LGAMMA+KK*RR;
IF B2†2-4.0*A2*C2<0 then
begin OUT0(6,'100B'IMAGINARY SOLUTION'/' ); go to END end
else
XT1=(-1.0*B2-SQRT(B2†2-4.0*A2*C2))/(2.0*A2);
XT3=(-1.0*B2+SQRT(B2†2-4.0*A2*C2))/(2.0*A2);
IF XT3<0.0 then
begin OUT0(6,'100B'IMAGINARY SOLUTION'/' ); go to END end

```

- 130-

```

else
OUT0(6,'100B'REAL SOLUTION'5/');
XT2=4.0*(4.0*LGAMMA+RR)/SS;
XXT1=SQRT(XT1); XXT2=SQRT(XT2); XXT3=SQRT(XT3);
NFT1=XXT1/6.2832; NFT2=XXT2/6.2832; NFT3=XXT3/6.2832;
PERT1=1.0/NFT1; PERT2=1.0/NFT2; PERT3=1.0/NFT3;
AMPT11=(SS*XT1-LGAMMA-RR)/(3.0*(SS*XT1-81.0*LGAMMA-9.0*RR));
AMPT13=(SS*XT3-LGAMMA-RR)/(3.0*(SS*XT3-81.0*LGAMMA-9.0*RR));
OUT0(6,'44B'FREQUENCY AND PERIOD'23B'MODE OF VIBRATION'2/');
OUT0(6,'37B'CIRC.FREQ.'3B'NATU.FREQ.'3B'PERIOD'23B'MAIN.SPAN'2/');

```

- 140-

```

OUT5(6,'18B'1ST MODE'10B-2Z.6D3B,-1Z.6D3B,-2Z.4D9B,10B-1Z.4D3B,-1Z.5D/' ,XXT1,NFT1,PERT1,AMP1,AMPT11);
OUT5(6,'18B'2ND MODE'10B-2Z.6D3B,-1Z.6D3B,-2Z.4D9B,10B-1Z.4D3B,-1Z.5D/' ,XXT2,NFT2,PERT2,AMP1,AMP2);
OUT5(6,'18B'3RD MODE'10B-2Z.6D3B,-1Z.6D3B,-2Z.4D9B,10B-1Z.4D3B,-1Z.5Z/' ,XXT3,NFT3,PERT3,AMP1,AMPT13);
END;
READ(n);
IF n=0 then go to END2; go to START;
END2;
OUT0(6,'3/100B'END'');
end;

```

走行車両による吊橋の応答プログラム 応答変位

```

C 1971.7.21 IKEMURA
DIMENSION A(3),B(3),C(3),OM(4),OM2(4),DEF(40),DEFST(40),ADEF(40),
1CIMPC(40)
READ(5,9) ALT,AC,BL1,BH1,BL2,BH2
9 FORMAT(6F10.0)
11 CONTINUE
READ(5,1) W,AL,A1,F,P1,P2,D,V
1 FORMAT(8F10.0)
IF(W.EQ.0.0) STOP
WRITE(6,100)
100 FORMAT(1H1.6X,1HX,3X,3H(0),4X,3H(1),4X,3H(2),4X,3H(3),4X,3H(4),4X,
13H(5),4X,3H(6),4X,3H(7),4X,3H(8),4X,3H(9),3X,4H(10),3X,4H(11),3X,
24H(12),3X,4H(13),3X,4H(14),3X,4H(15),3X,4H(16),/10X,4H(17),3X,4
1H(18),3X,4H(19),3X,4H(20),3X,4H(21),3X,4H(22),3X,4H(23),3X,4H(24),
23X,4H(25),3X,4H(26),3X,4H(27),3X,4H(28),3X,4H(29),3X,4H(30),3X,4H(
331),3X,4H(32))
S=W*AL**2/(9.8*3.1416**2)
ALAMDA=3.1416**2*2.1*10.0**7*A1/(AL**2)
AK=32.0*F/(3.1416**3)
HW=W*AL**2/(8.0*F)
AM=W/9.8
FR=F*(ALT/AL)**2
ALE=ALT*(0.25*(2.5+16.0*(FR/ALT)**2)*SQRT(1.0+16.0*(FR/ALT)**2))
TOKU1=(SQRT(1.0+16.0*(FR/ALT)**2)+4.0*FR/ALT)/(SQRT(1.0+16.0*(FR/
1ALT)**2-4.0*FR/ALT))
TOKU1=ALOG(TOKU1)
ALE=ALE+ALT*3.0*ALT/(64.0*FR)*TOKU1
ALE=ALE+BL1*(SQRT(BL1**2+BH1**2)/BL1)**3+BL2*(SQRT(BL2**2+BH2**2)/
1BL2)**3
P=3.1416*ALT*ALE/(16.0*FR*2.0*10.0**7*AC)
A1=9.0*P*S**2
B1=-1.0*(AK*S+9.0*(S*(AK+P*HW+P*ALAMDA)+P*S*(9.0*HW+81.0*ALAMDA)))
C1=9.0*P*((HW+ALAMDA)*(9.0*HW+81.0*ALAMDA)+AK/9.0/P*(HW+ALAMDA)+
1AK/P*(9.0*HW+81.0*ALAMDA))
XA1=(-1.0*B1-SQRT(B1**2-4.0*A1*C1))/(2.0*A1)
XA3=(-1.0*B1-SQRT(B1**2-4.0*A1*C1))/(2.0*A1)
XA2=9.8*3.1416**2*4.0*(HW+4.0*ALAMDA)/(W*AL**2)
XA4=9.8*3.1416**2*16.0*(HW+16.0*ALAMDA)/(W*AL**2)
OM(1)=SQRT(XA1)
OM(3)=SQRT(XA3)
OM(2)=SQRT(XA2)
OM(4)=SQRT(XA4)
DO 8 I=1,3,2
OM2(I)=OM(I)**2
A(I)=S*OM2(I)-HW-ALAMDA
B(I)=S*OM2(I)-9.0*HW-81.0*ALAMDA
C(I)=A(I)/(3.0*B(I))
8 CONTINUE
PA1=3.1416*V/AL
T=0.0

```

- 10-

- 20-

- 30-

- 40-

- 50-

応答加速度用

```

INT1=0
7 X1=0.0
  INX=0
6 CONTINUE
  INDEX=0
  DEF1=0.0
  DEF2=0.0
3 DO 2 K=1,4,2
  DEF1=DEF1+2.0*P1/(AM*AL)*(SIN(X1)+C(K)*SIN(3.0*X1))/(OM2(K)*(1.0+C
1(K)**2))*((SIN(PAI*T)-(PAI/OM(K))*SIN(OM(K)*T))/(1.0-(PAI/OM(K))*
12)+C(K)*(SIN(3.0*PAI*T)-(3.0*PAI/OM(K))*SIN(OM(K)*T))/(1.0-(3.0*
1PAI/OM(K))**2))
2 CONTINUE
  IF(T.EQ.0.0) GO TO 5
  INDEX=INDEX+1
  T=T-D/V
  P1=P2
  IF(INDEX.LT.2) GO TO 3
  P1=P1
  T=T-D/V*2.0

  INDEX=0
5 DO 4 K=2,4,2
  DEF2=DEF2+2.0*P1/(AM*AL)*SIN(FLOAT(K)*X1)/(OM(K)**2-(FLOAT(K)*
1PAI)
  **2)*(SIN(FLOAT(K)*PAI*T)-(FLOAT(K)*PAI/OM(K))*
2SIN(OM(K)*T))
4 CONTINUE
  IF(T.EQ.0.0) GO TO 10
  INDEX=INDEX+1
  T=T-D/V
  P1=P2

  IF(INDEX.LT.2) GO TO 5
  T=T-D/V*2.0
  P1=P1
10 CONTINUE
  X0=T*V
  X=X1*AL/3.1416
  CALL DEFLEC(F*AC*HW*A1*ALE*AL,P1,X0,X,DEFL)
  DEFL1=DEFL
  X0=T*V-D
  IF(X0.LT.0.0) GO TO 12
  CALL DEFLEC(F*AC*HW*A1*ALE*AL,P2,X0,X,DEFL)
  GO TO 15
12 DEFL=0.0
15 CONTINUE
  DEFL2=DEFL
  DEFST(INX1)=(DEFL1+DEFL2)*100.0
  DEF(INX1)=(DEF1+DEF2)*100.
  IF(DEFST(INX1).EQ.0.0) GO TO 13
  CIMPCC(INX1)=DEF(INX1)/DEFST(INX1)-1.0
  GO TO 14

```

- 60-

- 70-

- 80-

- 90-

```

13 CIMPCC(INX1)=0.0
14 CONTINUE
  X1=X1+AL/16.0*3.1416/AL/2.0
  INX=INX+1
  IF(INX.LE.32) GO TO 6
  TV=T*V
  WRITE(6,101) TV,(DEF(I),I=1,33)
101 FORMAT(1H0,2X,F5.1,17(F7.2)/,8X,16(F7.2))
  WRITE(6,102) (DEFST(I),I=1,33)
  WRITE(6,102) (CIMPCC(I),I=1,33)

102 FORMAT(8X,17(7H-----)/ 8X,17(F7.2)/ 8X,16(F7.2))
  T=T+AL/(16.0*V)/2.0
  INT1=INT1+1
  IF(INT1.LT.32) GO TO 7
  GO TO 11
  STOP
  END

```

```

6 CONTINUE
  INDX=0
  DEF1=0.0
  DEF2=0.0
3 DO 2 K=1,4.2
  DFF1=DEF1+2.0*P1/(AM*AL)*(SIN(X1)+C(K)*SIN(3.0*X1))/(1.0+C(K)**2)*
  1((SIN(PAI*T)-OM(K)/PAI*SIN(OM(K)*T))/(1.0-(OM(K)/PAI)**2)+
  2C(K)*(SIN(3.0*PAI*T)-OM(K)/(3.0*PAI)*SIN(OM(K)*T))/(1.0-(OM(K)/PAI
  3)**2))
2 CONTINUE
  IF(T.EQ.0.0) GO TO 5
  INDX=INDEX+1
  T=T-D/V
  P1=P2
  IF(INDEX.LT.2) GO TO 3
  P1=P1
  T=T+D/V*2.0
  INDX=0
5 DO 4 K=2,4.2
  DFF2=DEF2+2.0*P1/(AM*AL)*SIN(FLOAT(K)*X1)/(1.0-(OM(K)/(FLOAT(K)*PA
  41)**2)*(SIN(FLOAT(K)*PAI*T)-OM(K)/(FLOAT(K)*PAI)*SIN(OM(K)*T))
4 CONTINUE
  IF(T.EQ.0.0) GO TO 10
  INDX=INDEX+1
  T=T-D/V
  P1=P2
  IF(INDEX.LT.2) GO TO 5
  T=T+D/V*2.0
  P1=P1
10 CONTINUE
  INX1=INX+1
  DEF(INX1)=(DEF1+DEF2)*100.
  X1=X1+AL/16.0*3.1416/AL
  INX=INX+1
  IF(INX.LE.16) GO TO 6
  TV=T*V
  IF(AMOD(FLOAT(INT1),10.0).EQ.0.0) GO TO 400
  WRITE(6,101) TV,(DEF(I),I=1,17)
101 FORMAT(1H ,2X,F5.1,17(F7.2))
  GO TO 300
400 WRITE(6,200) TV,(DEF(I),I=1,17)
200 FORMAT(1H0,2X,F5.1,17(F7.2))
300 CONTINUE
  T=T+AL/(16.0*V)/2.0/5./4.0/2.
  INT1=INT1+1
  IF(INT1.LT.1280) GO TO 7
  GO TO 11
  STOP
  END

```

```

SUBROUTINE DEFLEC(F,AC,HW,AJ,ALE,AL,P,XO,X,DEFL)
COSH(X)=(EXP(X)+EXP(-X))/2.0
SINH(X)=(EXP(X)-EXP(-X))/2.0
HP=0.0
1 HR=HW+HP
C=SORT(HR/(2.1*10.**7*AI))
SLAM=F**2/(HR*AL)*2.0*10.**7*AC/ALE
HP=AL/F*P*(0.5*XO/AL*(1.0-XO/AL)-(1.0-COSH(C*(AL/2.0-XO)))/
1COSH(C*AL/2.0))/(C*AL**2)/(2.0/3.0-8.0*(1.0-TANH(C*AL/2.0))/(C*
2AL/2.0))/(C*AL**2)+1.0/(8.0*SLAM))
- 10-
HR1=HW+HP
IF (ABS(HR1-HR).GT.1.0E-3) GO TO 1
HR=HW+HP
DEFL=-HP/HR*8.0*F*(0.5*X/AL*(1.0-X/AL)-(1.0-COSH(C*(AL/2.0-X)))/
1COSH(C*AL/2.0))/(C*AL**2)
IF (X.GT.XO) GO TO 2
DEFL=DEFL+P*AL/HR*(X/AL*(1.0-XO/AL)-SINH(C*X)*SINH(C*(AL-XO))/(C*
1AL*SINH(C*AL)))
GO TO 3
2 DEFL=DEFL+P*AL/HR*(XO/AL*(1.0-X /AL)-SINH(C*XO)*SINH(C*(AL-X))/(C*
- 20-
1AL*SINH(C*AL)))
3 CONTINUE
RETURN
END

```

周波数分析用プログラム

```

begin
  Integer DD,SCN,OF1,EOF,L,K2,N,K,K1,J,I0,I01,M,M1,M2,CT,DATA,MAX,TA,NC,KK,LCT,CHN;
  real XSUM,XMEAN,COEF,F,VSUM,TIPD,PAI;
  array X(1:2000),AUTC,V,P(1:200),SX(1:2000,1:3);
  Integer array P1(1:300);
  procedure SAMPLE;
  begin
    N=1;
    OPNKDK(DD,SCN,OF1,EOF);
    KDK;

    for CHN=0,CHN+1 while SCN=0 v SCN=7 do KDK;
    HEAD:
    for CHN=1 step 1 until 6 do
      begin
        if SCN=CHN then go to SKIP;
        if OF1=1 then begin OUT0(6,'10B'*OVER FLOW*'/');
                        EJECT;
                        end;
        SX(N,CHN)=FLOAT(DD);
        if EOF=1 then go to TAIL;

        KDK;
        SKIP:
      end;
      N=N+1;
      if N>1500 then begin KD: KDK; if EOF=1 then go to TAIL; go to KD; end;
      go to HEAD;
    TAIL:
      N=((N-1)/10)*10;
      M=N/10;
      OUT2(6,' N=',4D,' M=',4D/' N,M);

      CLSKDK;
      end;
      procedure Hense;
      begin
        XSUM=0;
        for K=1 step 1 until N do
          XSUM=XSUM+X(K);
        XMEAN=XSUM/FLOAT(N);
        for K=1 step 1 until N do
          X(K)=X(K)-XMEAN;

        end;
        procedure Cr;
        begin
          for K=1 step 1 until M do
            begin
              K1=K-1;
              NC=N-K1;
              COEF=1/FLOAT(NC);
              XSUM=0;
              for J=1 step 1 until NC do

```

- 10-

- 20-

- 30-

- 40-

- 50-

```

XSUM:=XSUM+X(J)*X(J+K1);
AUTC(K):=COEF*XSUM;
end;
end;
Procedure CosTra;
begin
for K=1 step 1 until M do
begin
VSUM:=0;
K1:=K-1;

for IQ=1 step 1 until M2 do
begin
IQ1:=IQ+1;
VSUM:=VSUM+AUTC(IQ1)*COS(IQ*K1*PAI/M1);
end;
V(K):=(AUTC(1)+AUTC(M)*COS(K1*PAI)+2*VSUM)*TIPD;
end;
end;
Procedure SpeDen;
begin
for K=1 step 1 until M do
begin
K1:=K-1;
K2:=K+1;
if K=1 then P(1)=0.5*(V(1)+V(2));
if K=M then P(M)=0.5*(V(M1)+V(M));
if K>1 ^ K<M then P(K)=0.25*(V(K2)+V(K1))+0.5*V(K);
end;
end;
end;
Procedure PLOT;
begin
MAX:=P(1);
for K=2 step 1 until M do
if MAX<P(K) then MAX:=P(K);
for K=1 step 1 until M do
P1(K):=(P(K)/MAX)*60;
end;
READ(N,TIPD,M);
OUT3(6,'158','Power Spectra (Turkey's Method)'/,10B,'N=',62D/,9B,'dt=',22D,5D/,10B,'M=',64D',N,TIPD,M);
CRLF(2);

PAI:=3.1415926536;
M1:=M-1;
M2:=M-2;
CT:=0;
DATA:=KK:=1;
TA:=1;
START;
SAMPLE;
for CHN=1 step 1 until 3 do

```

- 60-

- 70-

- 80-

- 90-

- 100-

```

begin for LCT=1 step 1 until N do
  X(LCT)=SX(LCT,CHN);

```

```

  Hensa:
  OUT0(6,'yo');
  Cr:
  OUT0(6,'xo');
  Co+Tra:
  OUT0(6,'ya');
  Speden:
  OUT0(6,'ma');

```

```

PLOT:
  OUT0(6,'140'F      Cr      V      P'');
  OUT0(6,'12R'freq.  Auto-Cor.  Power-Spe.  Hanning'');
  for K=1 step 1 until M do
    begin
      if K=1 then begin F=0; go to LL; end;
      F=(K-1)/(2*TIPD*M1);
      LL:

```

```

      OUT4(6,'10B,3ZD,3D,' ', '-.5D*-2D,' ', '-.5D*-2D,' ', '-.5D*-2D',F,AUTC(K),V(K),P(K));SPACE(P1(K));OUT0(6,'*');

```

```

    end; CRLF(1);
  end;

```

```

EJECT:
end;
go to START;
end;

```

上吉野川橋振動実験報告書

土研資料第693号
昭46. 10 (1971)

成田信之, 池村雅司

キーワード SUSPENSION BRIDGE, VIBRATION, FIELD TEST

要 旨 昭和46年3月22~25日にかけておこなった上吉野川橋の振動実験をまとめたものである。内容は、大別して起振機による実験と走行車両(ダンプトラック、総重量35t)による実験からなる。

郵 は が き

いは七
つて切
下手を

2 8 0 - □ □

建設省土木研究所
構造研究室

御中

千葉県千葉市穴川
四丁目十二ノ五二

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第693号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印

上吉野川橋振動実験報告書

土研資料第693号
昭46. 10 (1971)

成田信之, 池村雅司

キーワード SUSPENSION BRIDGE, VIBRATION, FIELD TEST

要 旨 昭和46年3月22～25日にかけておこなった上吉野川橋の振動実験をまとめたものである。内容は、大別して起振機による実験と走行車両(ダンプトラック総重量35t)による実験からなる。



郵便はがき

いは七
つて切
下手を

280-□□

建設省土木研究所
構造研究室

御中

千葉県千葉市穴川
四丁目十二ノ五二

No. 92

土木研究所資料第693号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印