

箱ヶ瀬橋振動実験報告書

昭和44年2月

建設省土木研究所

誤 正 表

10-3	誤	正																																																																																																												
目次	2. 実験写真 ----- 58	2. 実験写真 ----- 22																																																																																																												
20	図-3, 共振機図面中の寸法 2700 ± 50	2100 ± 50																																																																																																												
24	図-5 計量配置図 図-5 計器配置図中の共振機	図-5 計器配置図 共振機																																																																																																												
25	η : 実変位 $\dot{\eta}$: 加速度 η_a : 基準化変位	η_a : 実変位 $\dot{\eta}$: 加速度 $\bar{\eta}_a$: 基準化変位																																																																																																												
35	図-6-10 実変位, 換算変位 <table border="1"><tr><td>実験項目</td><td>共振曲線</td></tr><tr><td>測定変</td><td>8 D</td></tr><tr><td>共振器</td><td></td></tr><tr><td>共振方向</td><td>上 下</td></tr><tr><td>共振位置</td><td>径間 変</td></tr></table> 有り。	実験項目	共振曲線	測定変	8 D	共振器		共振方向	上 下	共振位置	径間 変	図-6-10 実変位, 換算変位 <table border="1"><tr><td>実験項目</td><td>共振曲線</td></tr><tr><td>測定変</td><td>8 D</td></tr><tr><td>共振方向</td><td>上 下</td></tr><tr><td>共振位置</td><td>径間 1/2 変</td></tr><tr><td>Center stay</td><td>有り</td></tr></table>	実験項目	共振曲線	測定変	8 D	共振方向	上 下	共振位置	径間 1/2 変	Center stay	有り																																																																																								
実験項目	共振曲線																																																																																																													
測定変	8 D																																																																																																													
共振器																																																																																																														
共振方向	上 下																																																																																																													
共振位置	径間 変																																																																																																													
実験項目	共振曲線																																																																																																													
測定変	8 D																																																																																																													
共振方向	上 下																																																																																																													
共振位置	径間 1/2 変																																																																																																													
Center stay	有り																																																																																																													
45																																																																																																														
46	表-4 対数減衰率 <table border="1"><tr><th colspan="6">1/4 径 間</th></tr><tr><th colspan="3">有</th><th colspan="3">無</th></tr><tr><th>次数</th><th>%</th><th>対数減衰率</th><th>次数</th><th>%</th><th>対数減衰率</th></tr><tr><td></td><td>0.62</td><td>0.062</td><td>2</td><td>0.55</td><td>0.075</td></tr><tr><td>3</td><td>1.07</td><td>0.038~0.040</td><td>3</td><td>1.08</td><td>0.074~0.105</td></tr><tr><td>4</td><td>1.65</td><td>0.027</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>5</td><td>2.47</td><td>0.031~0.040</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>1.39</td><td>0.106</td><td>1</td><td>1.39</td><td>0.064</td></tr><tr><td>2</td><td>2.32</td><td>0.057~0.075</td><td>2</td><td>2.32</td><td>0.056~0.073</td></tr></table>	1/4 径 間						有			無			次数	%	対数減衰率	次数	%	対数減衰率		0.62	0.062	2	0.55	0.075	3	1.07	0.038~0.040	3	1.08	0.074~0.105	4	1.65	0.027				5	2.47	0.031~0.040					1.39	0.106	1	1.39	0.064	2	2.32	0.057~0.075	2	2.32	0.056~0.073	表-4 対数減衰率 <table border="1"><tr><th colspan="6">1/4 径 間</th></tr><tr><th colspan="3">有</th><th colspan="3">無</th></tr><tr><th>次数</th><th>%</th><th>対数減衰率</th><th>次数</th><th>%</th><th>対数減衰率</th></tr><tr><td>2</td><td>0.62</td><td>0.062</td><td>2</td><td>0.55</td><td>0.075</td></tr><tr><td>3</td><td>1.07</td><td>0.038~0.040</td><td>3</td><td>1.08</td><td>0.074~0.105</td></tr><tr><td>4</td><td>1.65</td><td>0.027</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>5</td><td>2.47</td><td>0.031~0.040</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>1</td><td>1.39</td><td>0.106</td><td>1</td><td>1.39</td><td>0.064</td></tr><tr><td>2</td><td>2.32</td><td>0.057~0.075</td><td>2</td><td>2.32</td><td>0.056~0.073</td></tr></table>	1/4 径 間						有			無			次数	%	対数減衰率	次数	%	対数減衰率	2	0.62	0.062	2	0.55	0.075	3	1.07	0.038~0.040	3	1.08	0.074~0.105	4	1.65	0.027				5	2.47	0.031~0.040				1	1.39	0.106	1	1.39	0.064	2	2.32	0.057~0.075	2	2.32	0.056~0.073
1/4 径 間																																																																																																														
有			無																																																																																																											
次数	%	対数減衰率	次数	%	対数減衰率																																																																																																									
	0.62	0.062	2	0.55	0.075																																																																																																									
3	1.07	0.038~0.040	3	1.08	0.074~0.105																																																																																																									
4	1.65	0.027																																																																																																												
5	2.47	0.031~0.040																																																																																																												
	1.39	0.106	1	1.39	0.064																																																																																																									
2	2.32	0.057~0.075	2	2.32	0.056~0.073																																																																																																									
1/4 径 間																																																																																																														
有			無																																																																																																											
次数	%	対数減衰率	次数	%	対数減衰率																																																																																																									
2	0.62	0.062	2	0.55	0.075																																																																																																									
3	1.07	0.038~0.040	3	1.08	0.074~0.105																																																																																																									
4	1.65	0.027																																																																																																												
5	2.47	0.031~0.040																																																																																																												
1	1.39	0.106	1	1.39	0.064																																																																																																									
2	2.32	0.057~0.075	2	2.32	0.056~0.073																																																																																																									

10-ジ

誤

正

46

補装 (上から3行目)

舗装

47

測定	荷重	3	5	17
8' (26)	1.25 1.30	-5.3 23.2		
4' (30)				

測定	荷重	3	5	17
8' (26)	1.25 1.30	-3.2		
4' (30)				

46

4.2考察の11行目 Appendix-A

Appendix - 1

52

Appendix - B

Appendix - 2

53

表-8 吊橋の自由振動実例

橋名	対数減衰率
大峰橋	0.05 ~ 0.18

表-8 吊橋の自由振動実例

橋名	対数減衰率
大峰橋	0.032 ~ 0.042

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。本年度は福井県および電源開発株式会社の御好意により箱ヶ瀬橋について振動実験を実施する機会が得られた。

ここに実験の結果を報告すると同時に実験の準備の段階より種々お世話をいただいた上記２機関の関係者に心より感謝の意を表する次第である。

昭和 44 年 2 月

構造研究室長 大久保 忠 良

同主任研究員 成 田 信 之

目 次

序	ページ
§ 1. ま え が き	1
§ 2. 箱ヶ瀬橋の概要	2
2.1 概 要	2
2.2 諸 元	2
§ 3. 実 験 方 法	20
3.1 実験項目一般	20
3.2 励 振 方 法	20
3.3 実 験 の 種 別	23
3.4 測 定 方 法	24
§ 4. 実験結果とその考察	25
4.1 実 験 結 果	25
4.2 考 察	46
§ 5. 結 論	54
§ 6. あ と が き	54
参 考 文 献	55
附 録	57
1. 電算プログラム	57
2. 実 験 写 真	~~58~~ 22

§ 1. ま え が き

吊橋という形式が他の橋梁形式に比べて剛性に乏しく、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物の動的な特性を十分に把握しておく必要がある。

吊橋の動力学的特性（即ち固有振動数、基準振動波型および減衰係数）の問題はこれまで多くの研究者による解析的研究の成果があるが、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、実測例が非常に少ない。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、僅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全く知られていない。

このような事情から、当研究室では本州四国連絡橋の耐風設計調査の一環として、實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（cable stayed girder bridge）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きている。

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よじれ振動（Torsional vibration）と、多くの場合比較的低風速における限定振動（restricted vibration）として発現する鉛直曲げ振動（vertical bending vibration）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（mechanical vibrator）を利用し、これを橋面上 $1/2$ 点または $1/4$ 点に設置し、上下或いは水平橋軸直角方向に加振して捩れ振動および鉛直曲げ振動を発生させようと試みた。この方法によると捩れ振動と水平橋軸直角方向曲げ振動が連成し、純粋の捩れ振動が励起できないという欠点が生ずる。更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、もしも自由振動から減衰系数を求めようとする場合には外乱が入り純粋の自由振動が得られないため、資料の解析にはこれに対する対策も必要となる。

このような状態を打破するため、昭和 41 年度に二連の機械式起振機（double chambered mechanical vibrator）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 年度には尾道大橋の振動実験に始めて使用し、満足な結果が得られた。今回の実験は、従って、第 2 回目のものであり、吊橋では初めてのものである。実験は成功裏に終り、吊橋の捩れ振動の特性を一例ではあるが収集できた。

筆者らの知る限りでは、吊橋の捩れ振動特性については、Norwayにおいてロケット噴射による実橋試験を実施した例があるだけであるが、その結果はまだ発表されていない。箱ヶ瀬橋に関する今回の測定資料が、吊橋の耐風安定性上の基礎資料として寄与することを期待したい。

§ 2. 箱ヶ瀬橋の概要

2.1 概 要

箱ヶ瀬橋は電源開発株式会社が福井県九頭竜川水系に建設した長野ダム補償道路として大野郡和泉村箱ヶ瀬に架設された単径間トラス補剛二鉸吊橋である。中央支間は 206 m で、現在の我が国においては長大吊橋に属し、主ケーブルに平行線を用いている点に特徴がある。平行線ケーブルは支間 500 m 以上のものでないと不経済であるといわれているが、本工事は施工性などについての資料を得ることを目的として実験的に行なわれたものである。我が国における平行線ケーブル工事は昭和41年度の金谷橋（主支間 150 m ）が初めてであり、本橋同様に空中架線法（airspinning）が用いられた。ただし金谷橋のケーブルは1－ストランドであったのに対して、本橋では4－ストランドである。

吊橋主ケーブルとしての平行線ケーブルは力学的にも経済的にも通常の撚り線ケーブルに勝るといわれている。とりわけ、(イ)弾性係数、(ロ)力学的単純さ、(ハ)現場継手ができること、(ニ)ケーブルバンドとの滑りについて有利であること、(ホ)安価である、等が挙げられる。

なお、本橋の構造上の特性は上横構を排し、代りに床版と上弦材を利用したスラブアンカー（slab anchor）を使用した点にある。

本橋は宮地鉄工所により製作され宮地建設により架設された。竣功は昭和43年6月30日である。

2.2 諸 元

本橋の設計関係の概要・諸元を紹介しておく。

橋 長	$266,000\text{ m}$
支 間 割	$30,000 + 206,000 + 30,000\text{ m}$ (合成桁) (吊橋) (合成桁)
幅 員	$4,100\text{ mm}$
主 構 高	$3,150\text{ mm}$
主 構 間 隔	$5,170\text{ mm}$
橋 格	2 等 橋
床 版	鉄筋コンクリート床版（ 17 cm 厚）
舗 装	コンクリート舗装
横断勾配	2%放物線
縦断勾配	$1/300$ 放物線
地覆幅・高	35 cm , 10 cm
桁下余裕高	洪水位 $564,000 + 2,000\text{ mm}$

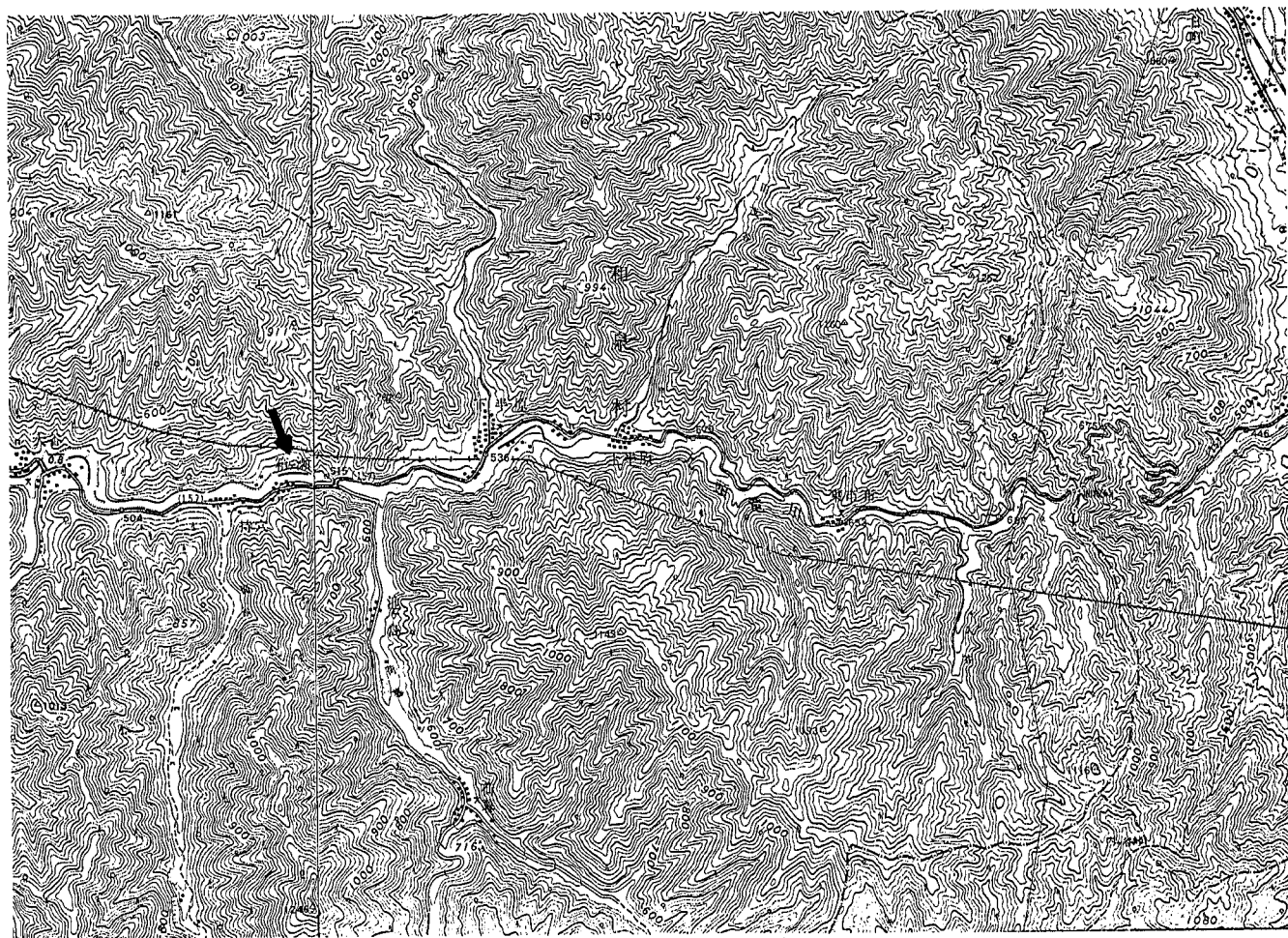


图-1 架設地点表示地图

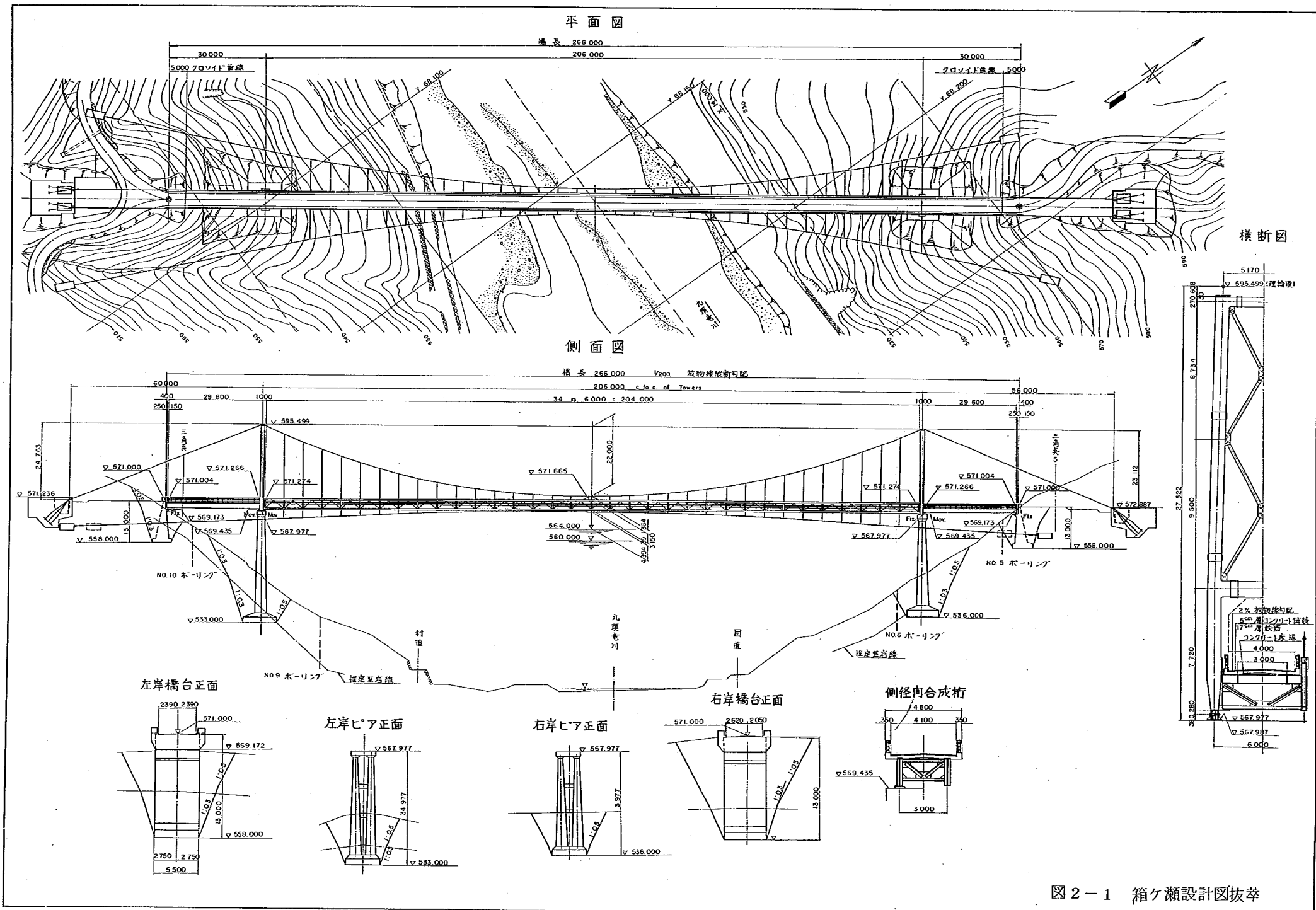


図 2-1 箱ヶ瀬設計図抜萃

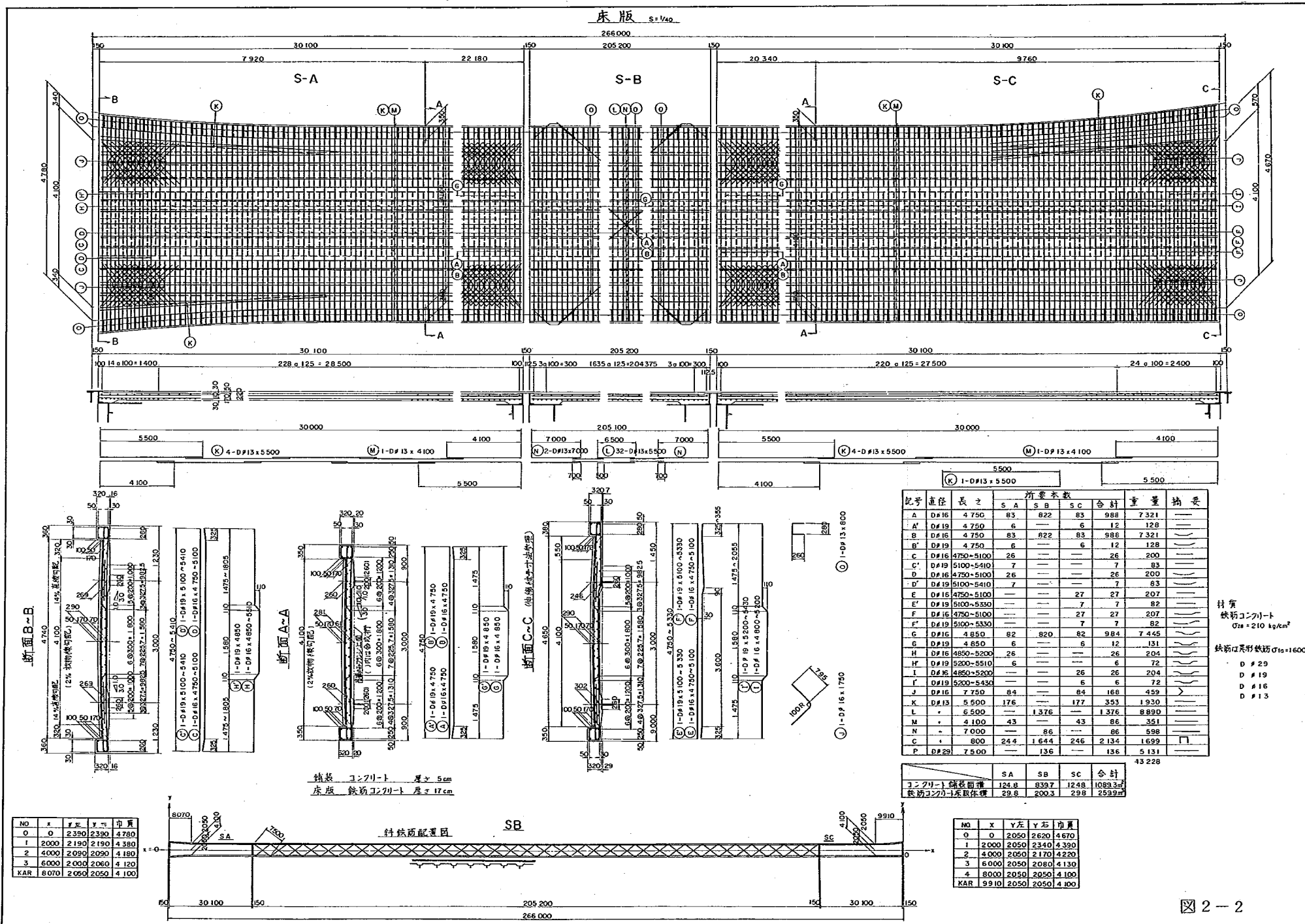
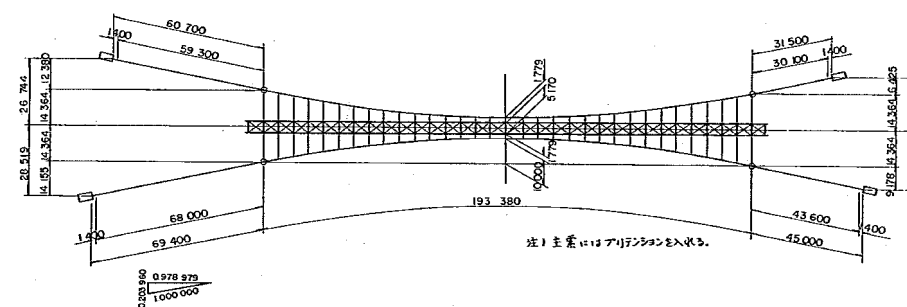
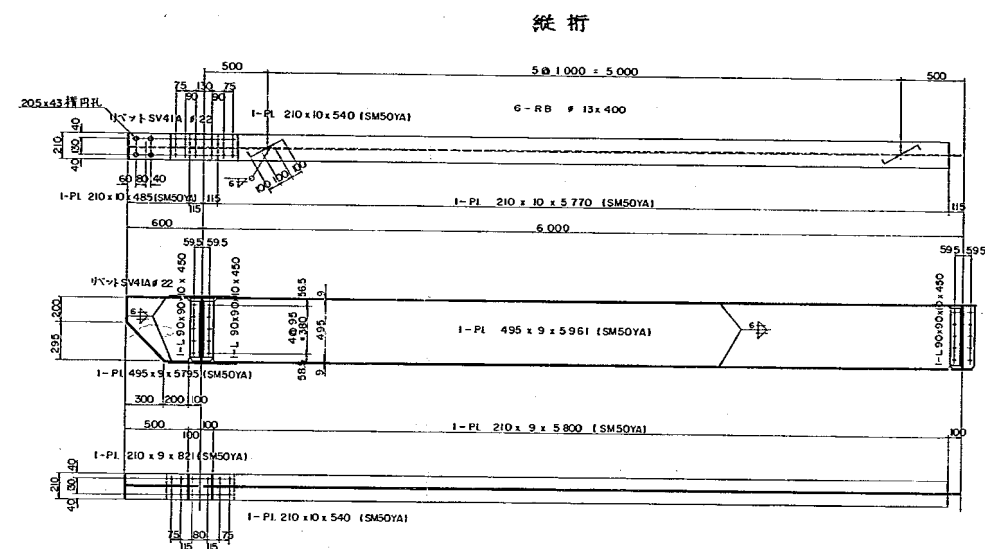
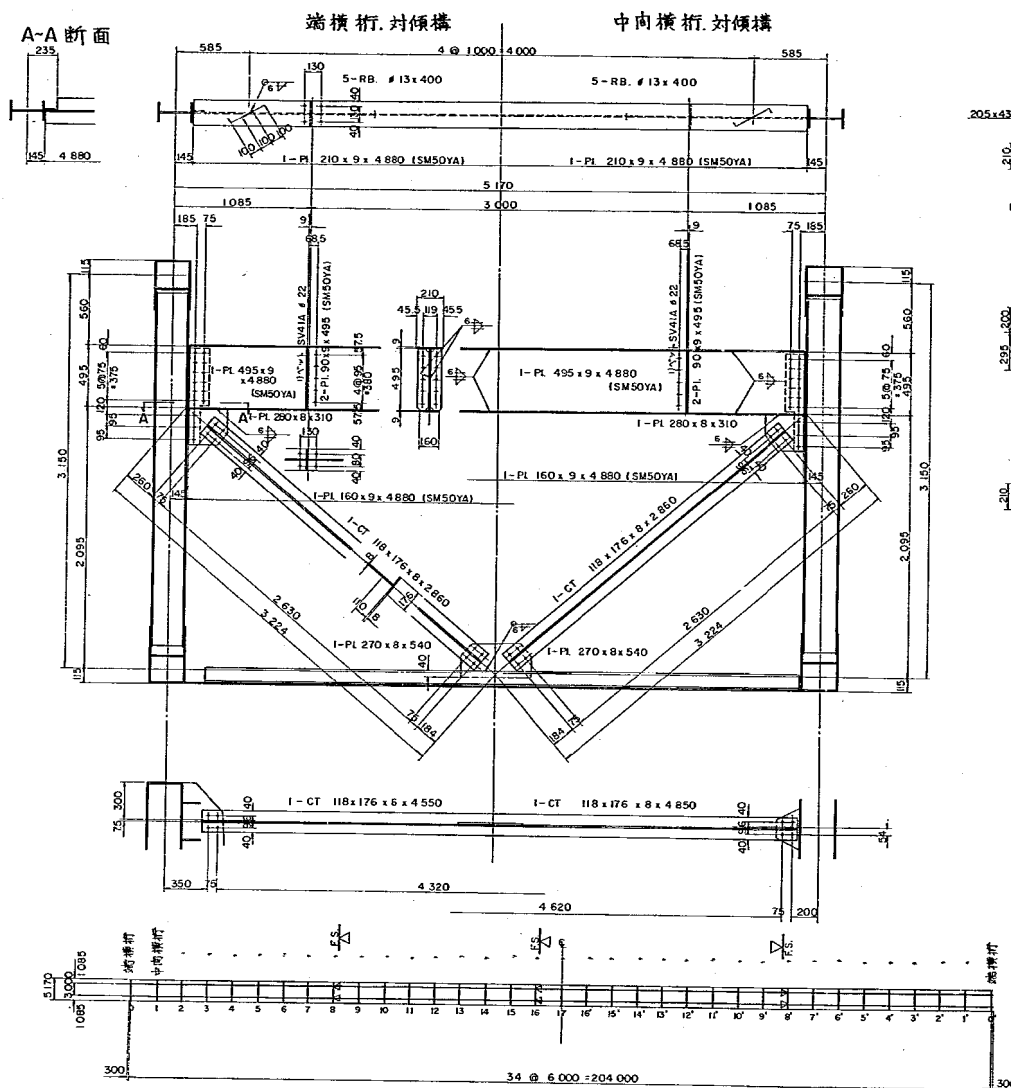
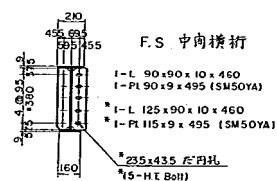


図 2-2



注) 特記なき材質は全て SS41
特記なきリベットは全て SV34 # 22

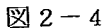


$\triangleleft$ 三角の向きに伸縮量をとる。

注) 中肉横折と F.S. 中肉横折との
差異は *.

注) 主索にはアリテンションを入れる。

图 2-3



塔 (2) S-V20

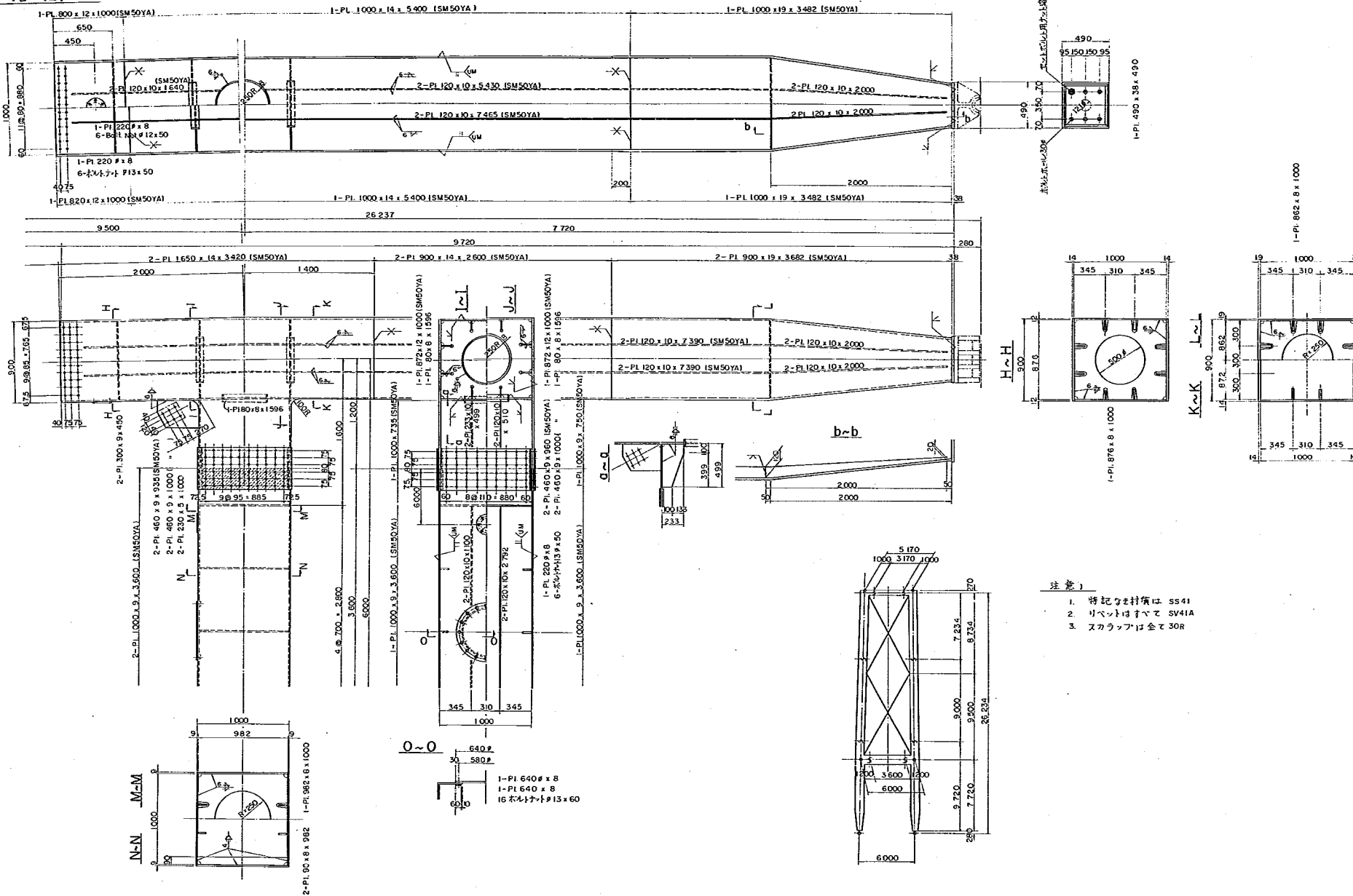
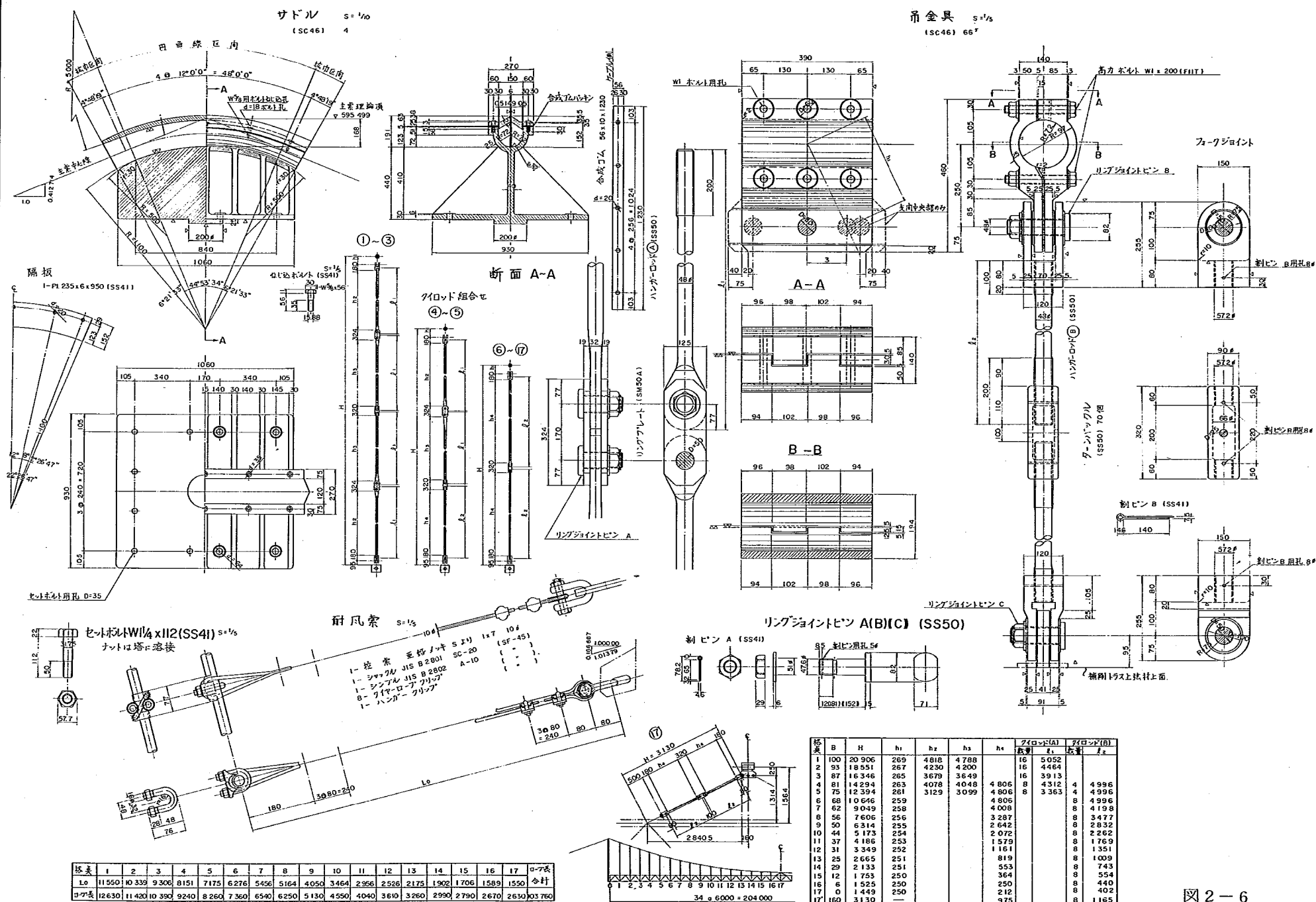
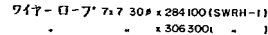
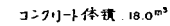


図 2-5



$$S = 1/5 \quad , \quad 1/10$$

$$S = 1/50$$


- (SF 45)

— 17 —

地震荷重 水平 0.2, 鉛直 0.1

雪荷重 吊橋 活荷重載荷時 $100\text{Kg}/\text{m}^2$
 活荷重無載荷時 $500\text{Kg}/\text{m}^2$

ただし、大きい方を採用。

温度変化 $-20^{\circ}\sim+50^{\circ}\text{C}$

撓み 等分布荷重載荷時の中央点の撓みは支間の $1/300$ 以下

主索・吊索・対風索の安全率 3 以上

アンカーブロックの安全率 2 以上, 岩盤とコンクリートの摩擦係数 0.6,
 アンカーブロック前面支持力 $100\text{t}/\text{m}^2$

許容応力 コンクリート $\sigma_{28}=210\text{Kg}/\text{cm}^2$
 鉄筋 $\sigma_s=1,600\text{Kg}/\text{cm}^2$

適用示方書 鋼道路橋設計示方書, 溶接鋼道路橋設計示方書, コンクリート標準示方書, 合成桁設計示方書

荷重の組み合わせと許容応力割増率 下表のとおり

表-1 荷重組み合わせと許容応力割増率

死	活(衝撃含む)	温	雪(100)	雪(500)	地	風	台風	割増率	摘 要
○	○							0%	主索, 塔床組, アンカー
○	○	○						15	"
○	○		○					0	"
○				○				20	"
○			○		○			70	補剛トラスの沓
○						○		25	塔
○	○						○	25	"
○	○		○				○	25	"
	○		○				○	25	補剛トラス, 塔
	○		○				○	25	"
	○	○						15	"
	○		○					0	"
	○		○		○			25	補剛トラス
					○			20	補剛トラス, 対風索
	○	○					○	35	補剛トラス

3.1 実験項目一般

従って、今回の実験のケースは以下のよう
に分類される。なお、振動実験に補助的
に実施される静的載荷試験は今回は行なわ
ず、本橋竣功時に宮地鉄工所の手により行
なった重量トラ
ックによる撓み
測定値を借用し
た。

表 - 2 実験ケース一覧

試験番号	センターस्टィの有、無	振動方向	加振位置
1	有	上 下	1/4
2	無		
3	有	捩 り	
4	無		
5	有	上 下	1/2
6	有	捩 り	

すでに述べたように構造物の励振は二連の機械式起振機を用いて行なった。この起振機は2本の水平軸のそれぞれに取り付けられた不平衡重錘を軸のまわりに逆方向に回転させて正弦的な周期力を発生させるよう作ら

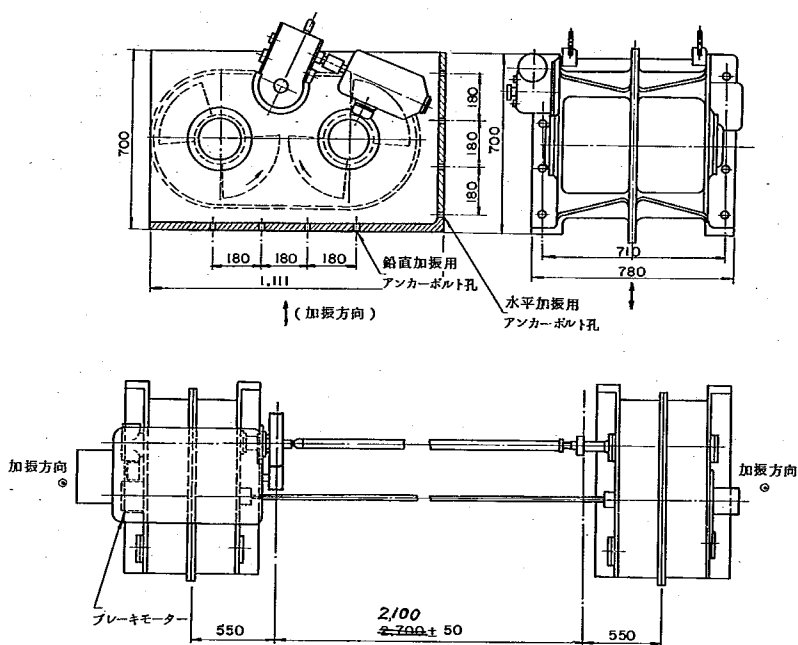


圖 - 3 起 振 機 圖 面

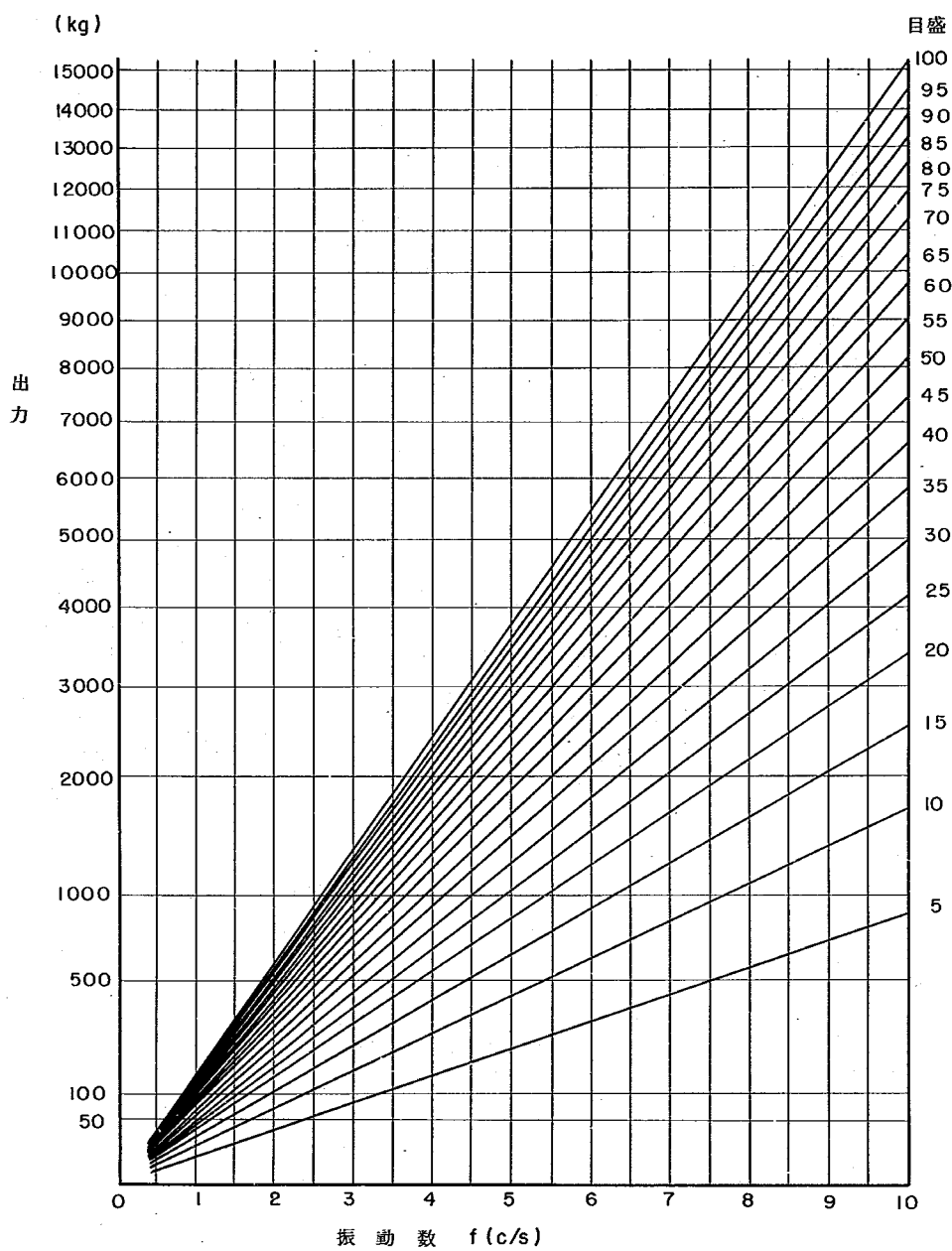


图-4 起振力特性



写真-1

0

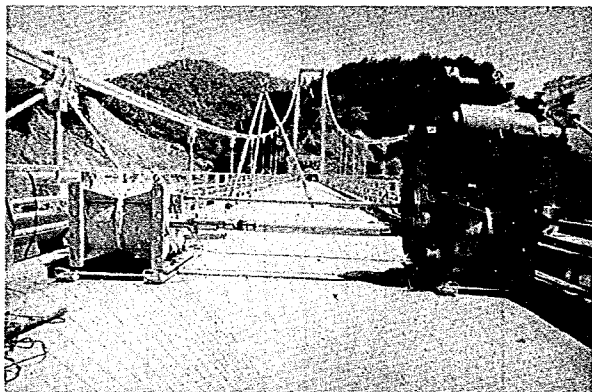


写真-2

0

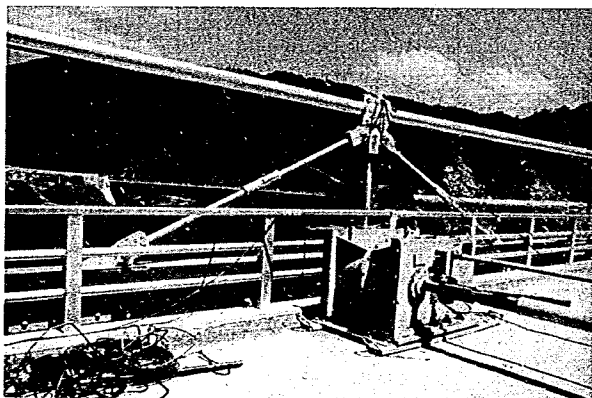


写真-3

れたものであるが、今回使用したものは下記の点で従来のものとは異なっている。

1. 全く同じ性能の起振機を2台使用したこと。この2台の起振機は駆動軸および制御軸によって連結されており、両者を同位相または逆位相で運転できる。従って両者を橋軸中心線より等間隔の位置に設置し、同位相または逆位相で運転することにより撓み加振または捩れ加振を行うことができる。
2. 起振機を運転中に、加振振動数を変えずに重錘を不平衡位置より零（またはこの逆も可能）の任意の値に変え得る。従って、構造物に適当な加振力で励振することが可能となる。これにより過大な加振力による共振で構造物が損傷を受けることを防止することができる。
3. 加振力の最大値より零加振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。

起振機は振動波型の節の部分を選定してすべての場合に加振できるよう支間の $\frac{1}{2}$ 点および $\frac{1}{4}$ 点の2点に移設して実験を行なった。使用した起振機の一般図および起振力特性を図-3および図-4に掲げておく。また、実際の取付状況はphoto-2.3を参照されたい。

3.3 実験の種別

3.3.1 共振試験

吊橋の固有振動数の解析はF. Bleichなど多くの研究者によって手がけられており、限られた断面形状の場合については計算式が得られている。ところで箱ヶ瀬橋は横桁(cross beam)が上弦材より下がって取り付けられたいわゆる中路型(half-through)であり、捩れ剛性の適切な算出方法がない。また、上横構(upper-lateral)として床版と上弦材を横桁位置で鉄筋によって結ぶスラブアンカー(slab anchor)方式が採用されている。このような理由で、上述の計算式をそのまま用いて固有値を算出することはできない。そこで、共振試験を行ない共振振動数を求め、剛性の計算方法の検討を試みることにした。厳密に云えば共振振動数は固有振動数とは等しくないが、構造減衰が小さく、また、起振機等の附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見做しても差支えない。この共振振動数を求め、これより共振曲線を求めた。

3.3.2 振動波型試験

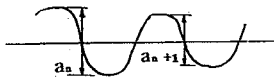
共振振動波型も厳密には基準振動型とは異なるが、上述したと同様の理由により、両者は等しいと考えてよい。構造物を共振状態におき、換振器(transducer)を振動波型が画けるのに十分なだけ細かく橋面上を移動させて各点の振動振幅を測定した。しかしながら、構造物を長時間完全な共振状態に保つことは困難である(減衰係数が小さいため)ので、各移動点が振幅の測定値と定位置における振幅の比をとり無次元化して整理した。

3.3.3 構造減衰試験

構造減衰は振動体が1周期のうちに逸散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振動時の振動振幅の減少の割合から簡単に計算できる。今回は次式に

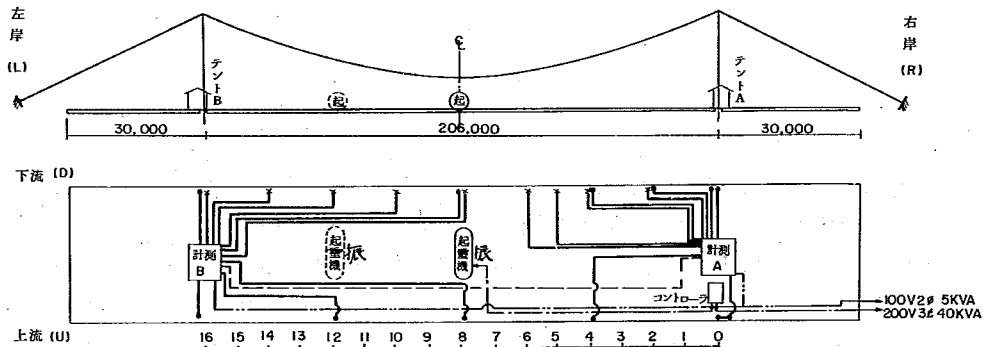
示す対数減衰率 (logarithmic decrement) を用いることとする。

$$\delta = \log. \frac{a_n}{a_{n+1}}$$


3.4 測定方法

振動の測定は全て加速度計 (Accelerometer), 動歪計 (Dynamic strainmeter), および記録計 (Recorder) を用いて行なった。

測定計器の展開は図-5に示したとおりである。従って, 振動は加速度 (Acceleration) として記録される。このようにして得られたデータは次の方法で整理した。



符号説明	測点	P.U.	Amp	Rec.		測点	P.U.	Amp	Rec.		設置	予備
	1 0-UT	2g	YEW A1	YEW P1		11 8-D	2g	YEW A2	YEW P2		2g	10台 3台
× 5 G 加速度計	2 0-D	2g	"	"		12 8-D	5g	"	"		5g	10台 3台
・ 2 G 加速度計	3 0-DT	2g	"	"		13 8-U	2g	"	"		YEW A	10 ch 4 ch
中継コード	4 2-D	2g	"	"		14 10-D	5g	"	"		YEW P	2台 1台
同期信号コード	5 2-D	5g	SAN A.	SAN V1	計測 A	15 12-D	5g	"	"	計測 B	DPM	8ch 1台 0
100V 2φ 5W	6 4-U	5g	YEW A1	YEW P1		16 12-U	2g	DPM	SAN V2		6ch	1台 2台
220V 3φ 40W	7 4-D	2g	SAN A	SAN V1		17 14-D	5g	"	"			
YEW A, YEW P, 横河歪計,	8 4-D	5g	"	"		18 16-D	5g	"	"			
DPM 共振歪計	9 5-D	5g	"	"		19 16-UT	2g	"	"			
SAN A, SAN V, 三栄歪計, ビジ	10 6-D	5g	"	"		20 16-UT	2g	"	"			

図-5 計器配置図
(共振曲線, Resonant curve)

(f) 実変位

$$\eta_s = \frac{\ddot{\eta}}{(2\pi f)^2}$$

(b) 換算変位

$$\eta_r = \frac{\eta_s}{f^2}$$

(振動波型, mode of vibration)

$$\eta_s = \frac{\eta_a}{\ddot{\eta}_s}$$

(減衰係数, damping coefficient)

$$\delta = \log_e \frac{\ddot{\eta}_N}{\ddot{\eta}_{N+1}}$$

ただし、 η_a : 実変位 $\ddot{\eta}_s$: 基準^化した変位
 $\ddot{\eta}$: 加速度 η_s : 基準の変位
 η_r : 換算変位 δ : 対数減衰率

§ 4. 実験結果とその考察

4.1 実験結果

実験は昭和43年7月2日より7日間を費やして行なった。以下にその結果の大略について説明する。

4.1.1 共振試験

測点4D, 8D, 12Dの3点で得られた共振曲線を図-6に、また、これより読み取った共振振動数を表-3に掲げておく。それによると起振機位置(即ち加振位置)による影響はほとんどないこと、逆対称振動に対してもセンタースティの影響は微小振幅の範囲では無視しうることがわかる。

4.1.2 振動波型試験

求められた振動波型を図-7に掲げる。それによると低次の波型は計算値と大きくずれていることがわかる。

4.1.3 構造減衰試験

4D, 8D, 12Dの3点で得られた対数減衰率を表-4に掲げる。減衰率の値に変動があるのは5回の実験の結果のばらつきをそのまま表示したからである。これより次のことがわかる。

(i) 起振機位置による差は認められない。

(ii) 捩れ振動は鉛直曲げ振動よりも大きな減衰率を示す。

(iii) 鉛直曲げ振動では次数により減衰率に顕著な差は見られない。捩れ振動で低次の方が大きい。

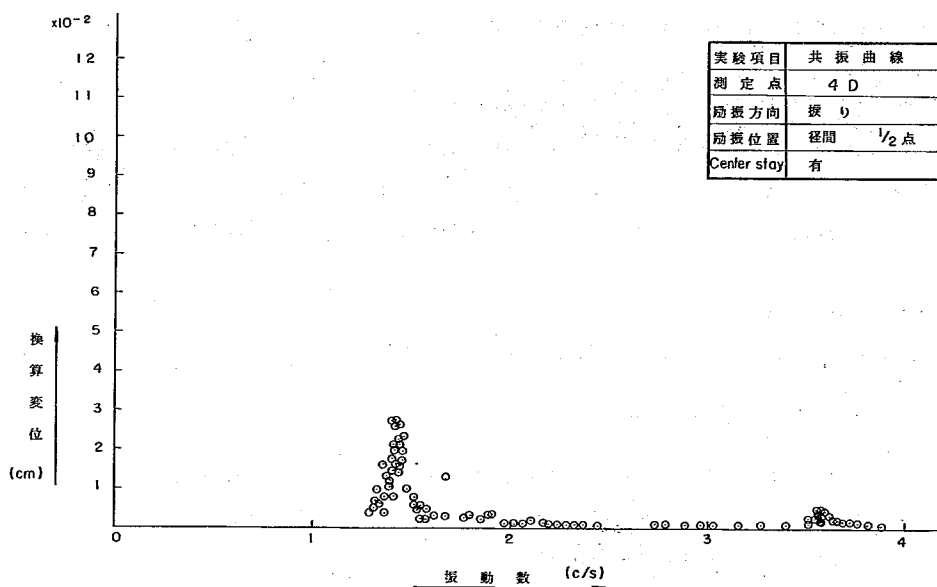
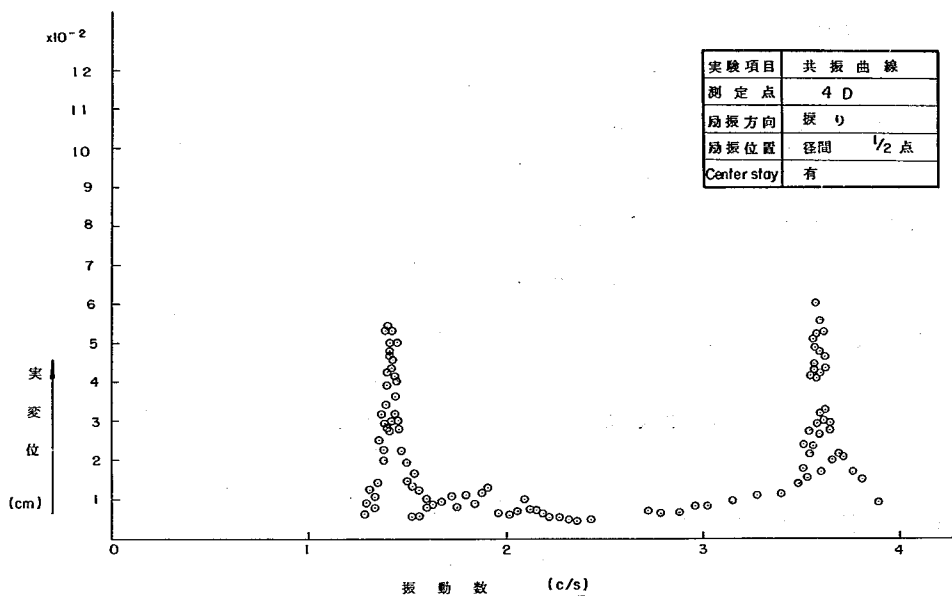


図 - 6 - 1 実変位換算変位

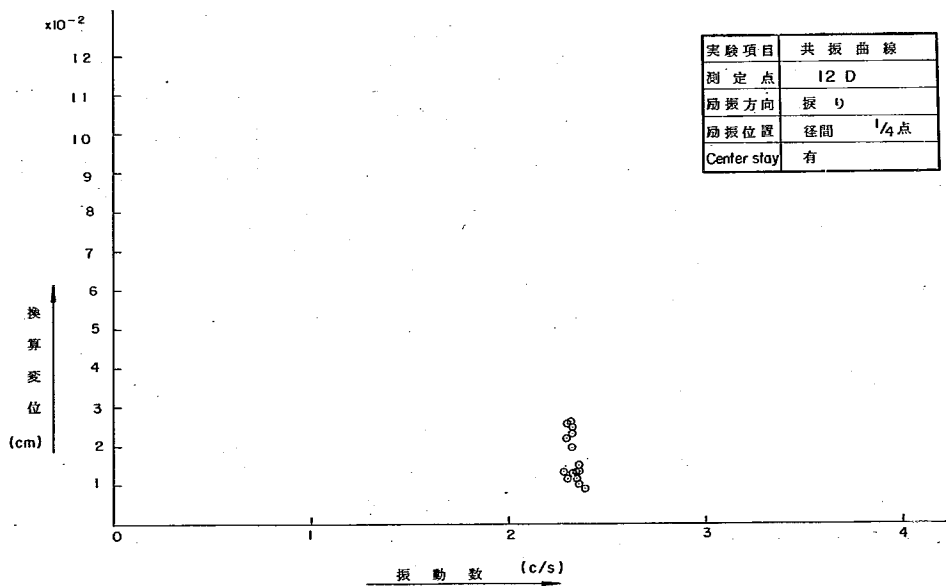
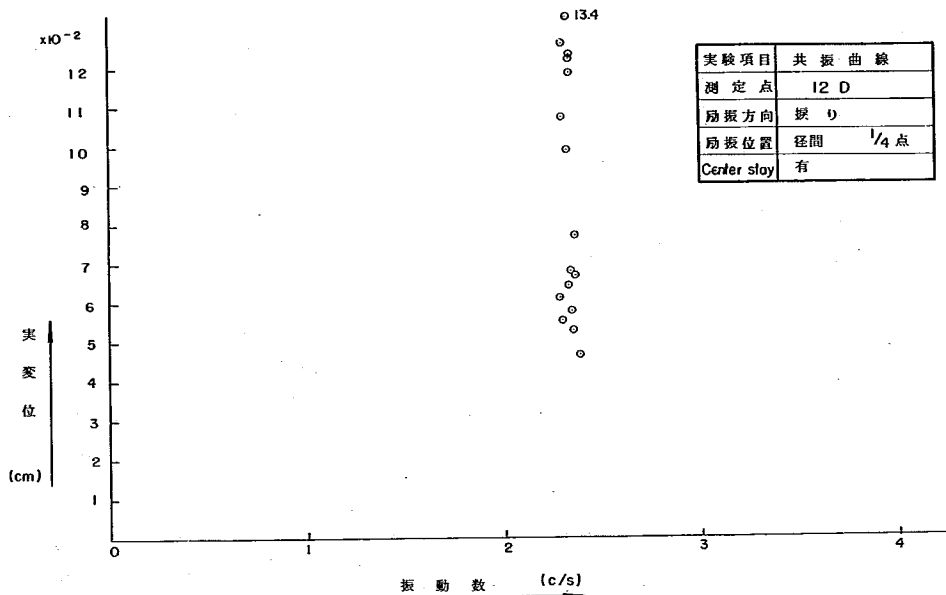


図-6-2 実変位換算変位

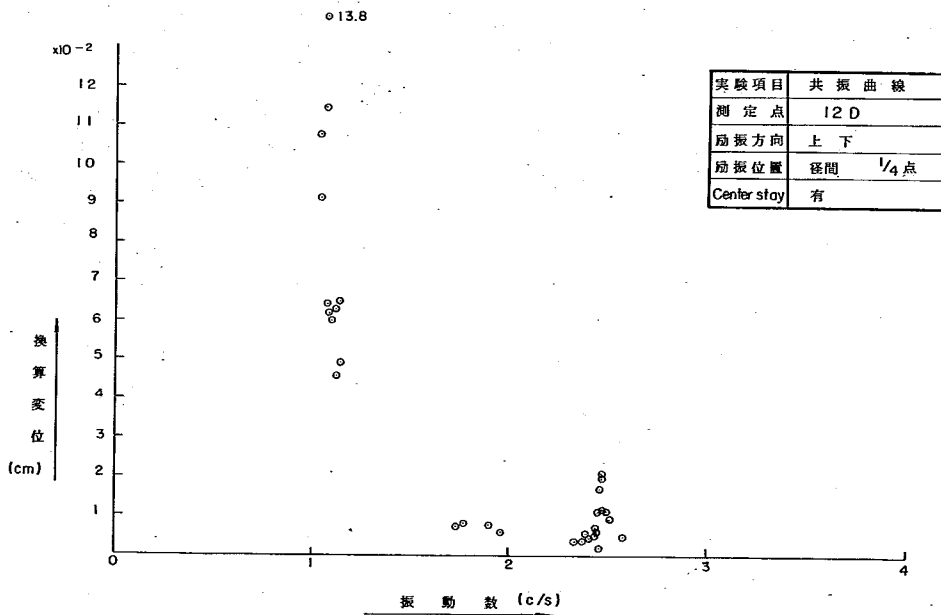
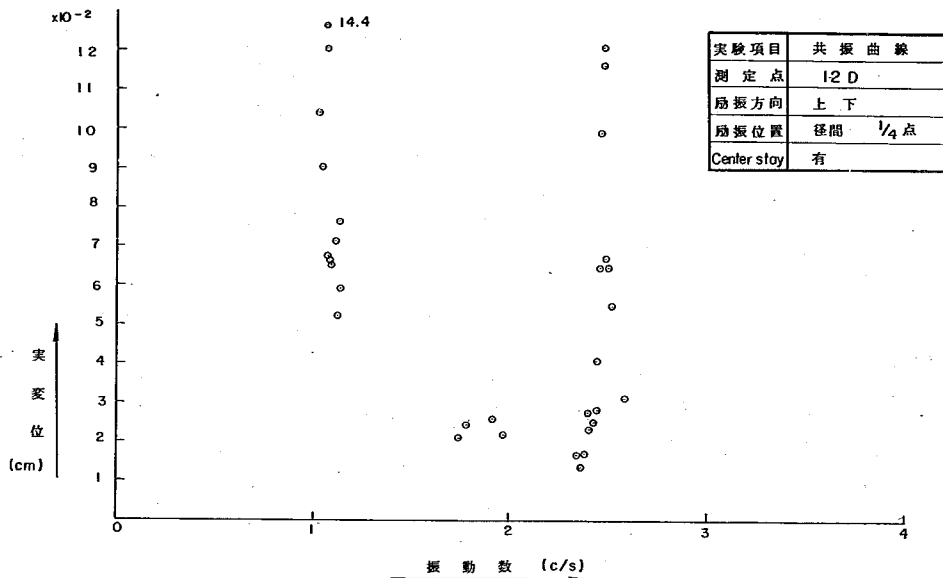


図-6-3 実変位換算変位

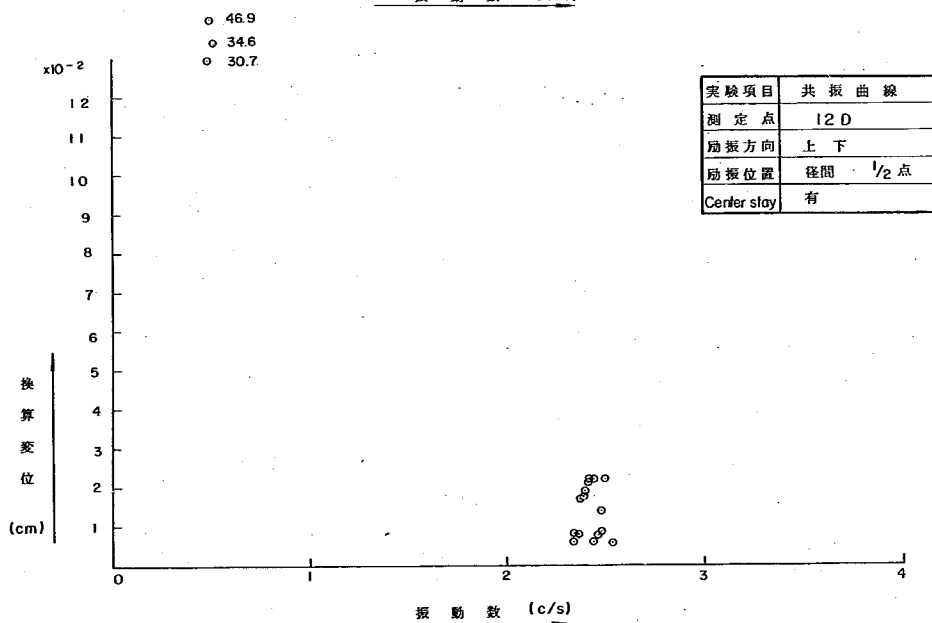
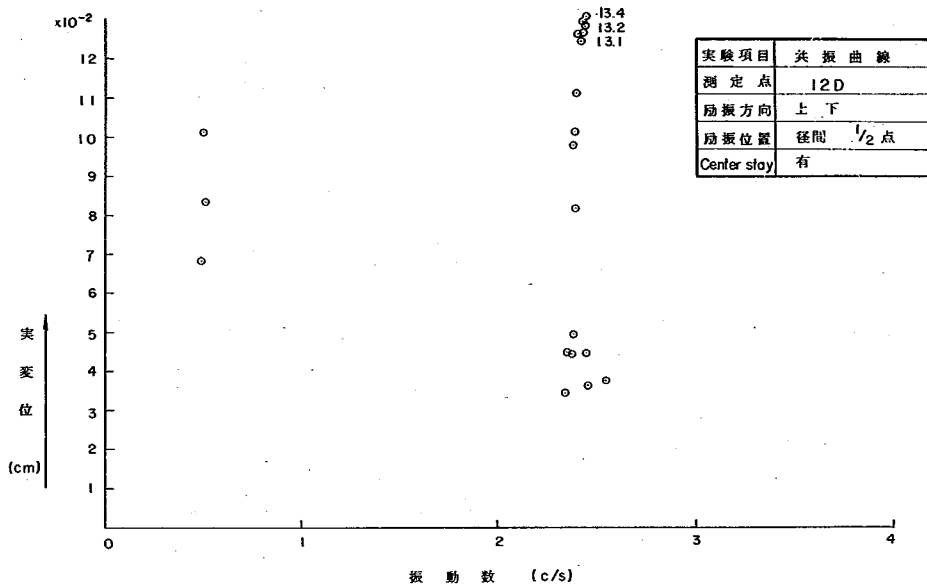


图-6-4 实变位换算变位

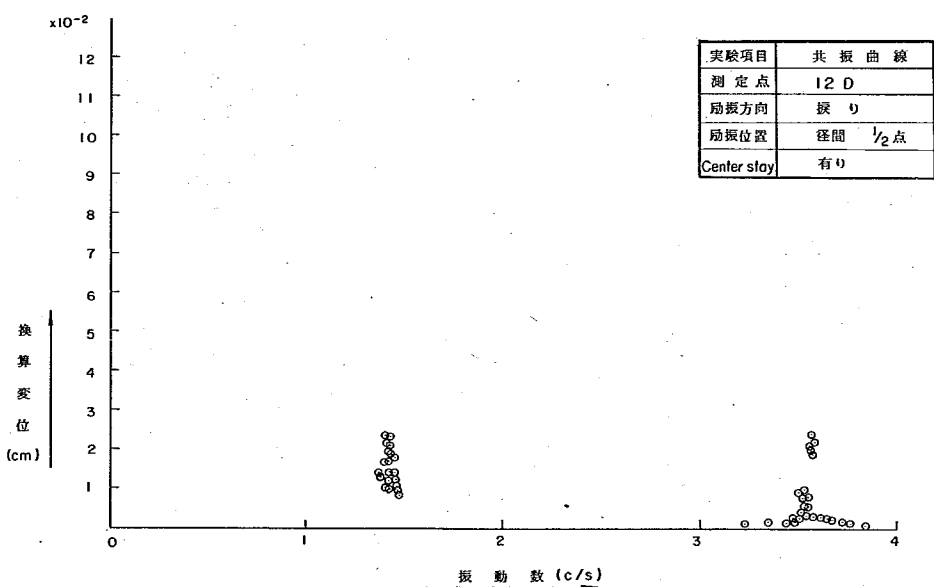
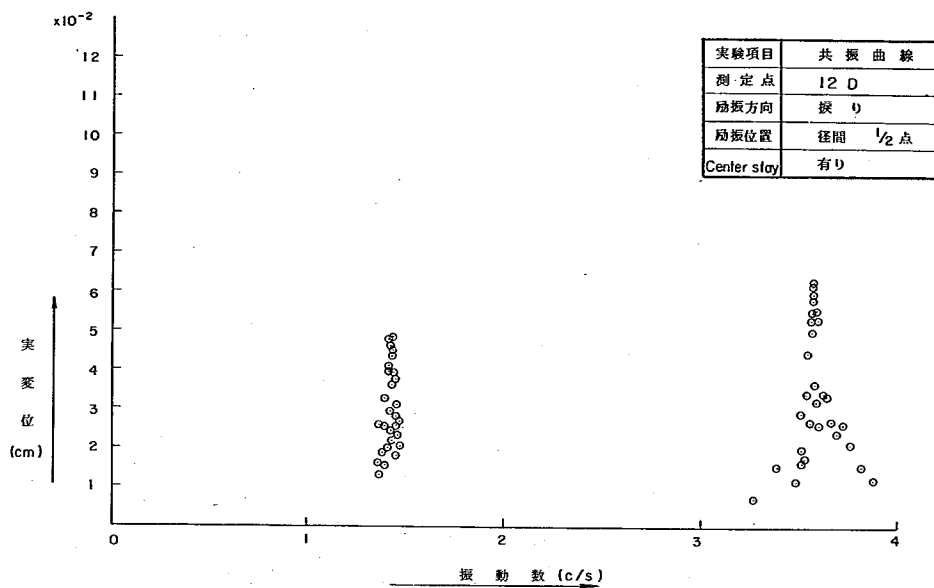


図 - 6 - 5 実変位換算変位

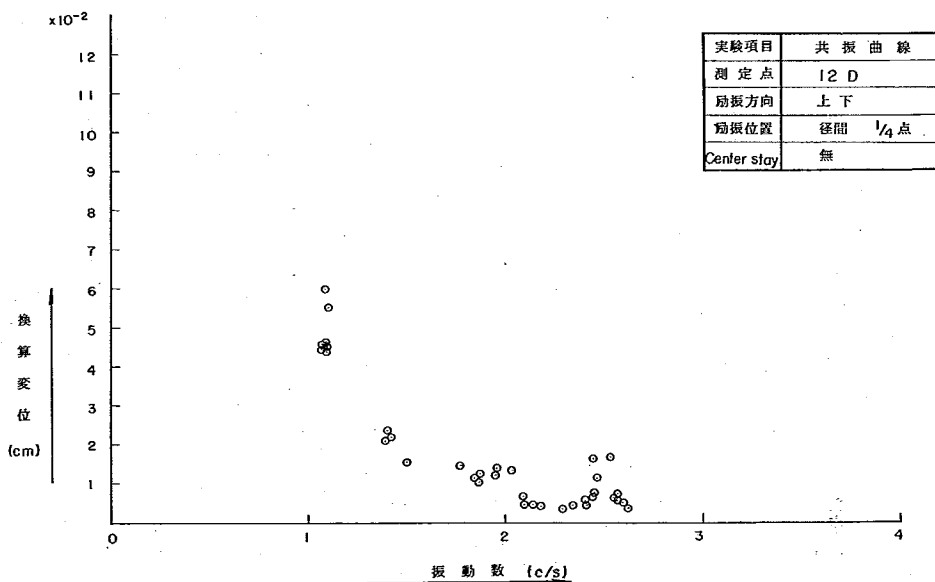
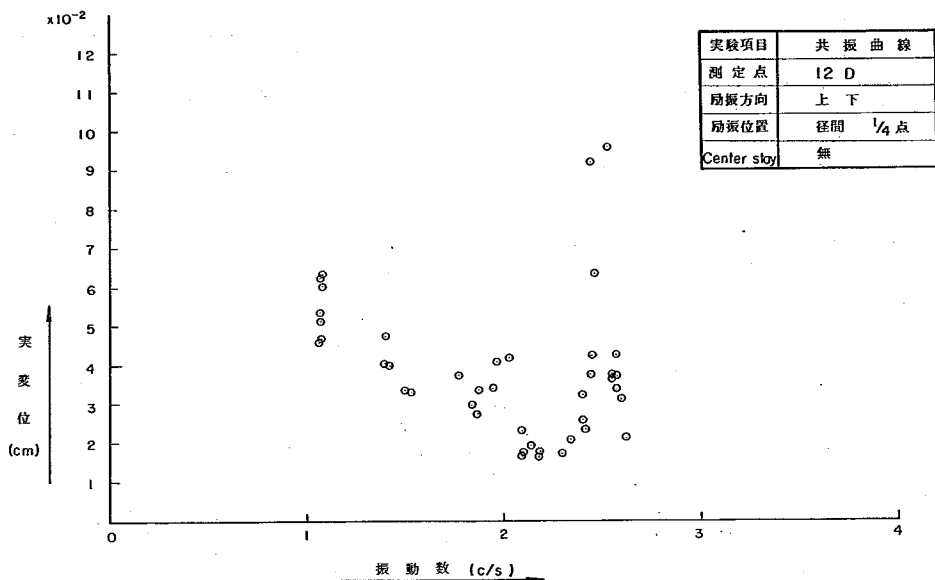


図-6-6 実変位換算変位

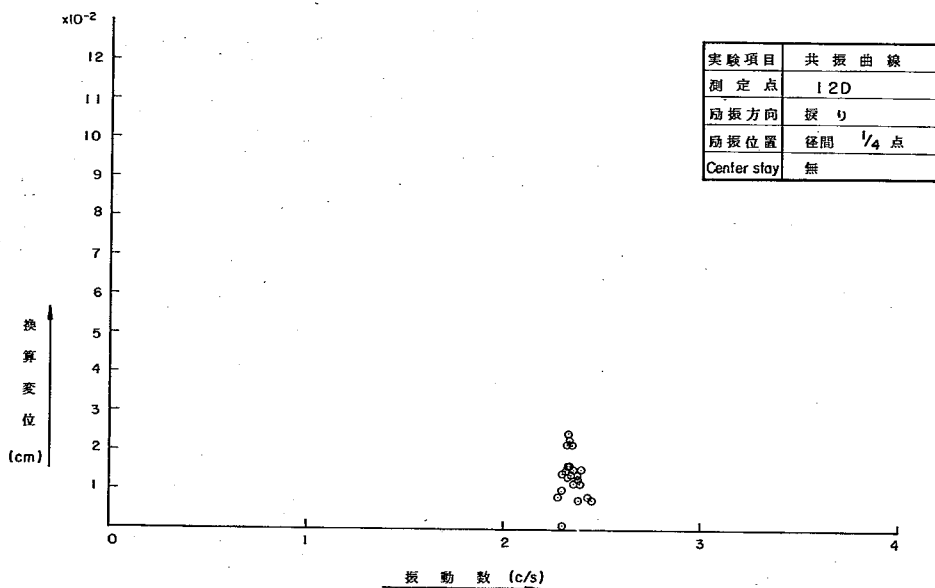
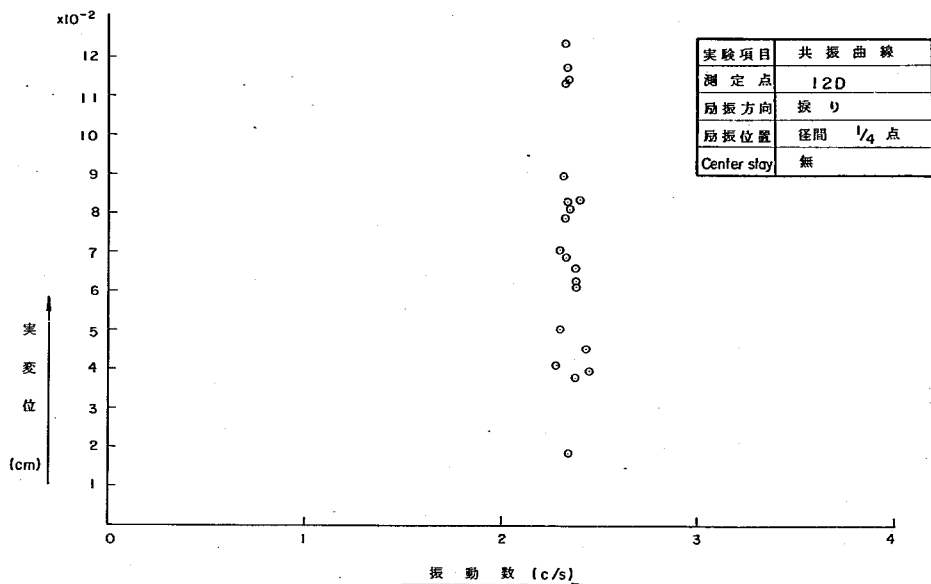


図 - 6 - 7 実変位換算変位

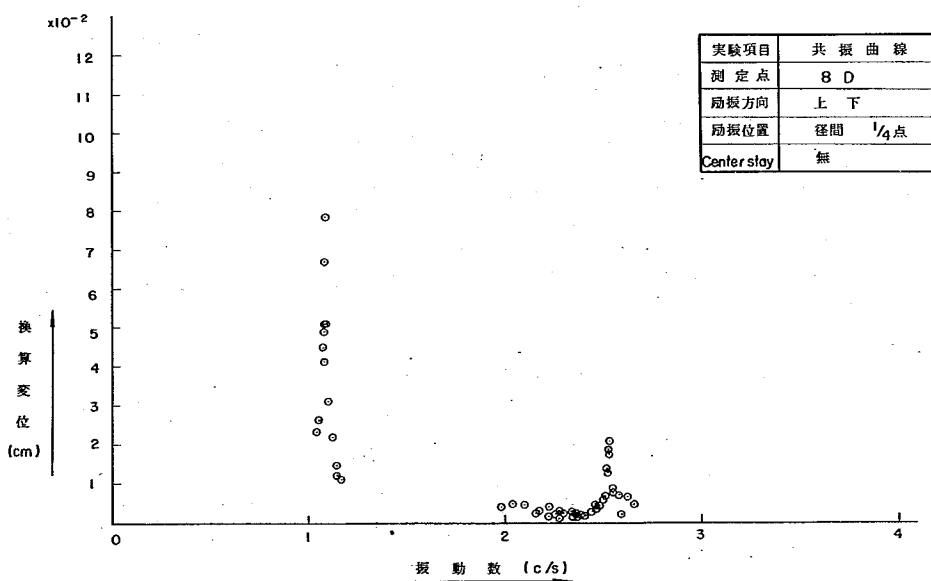
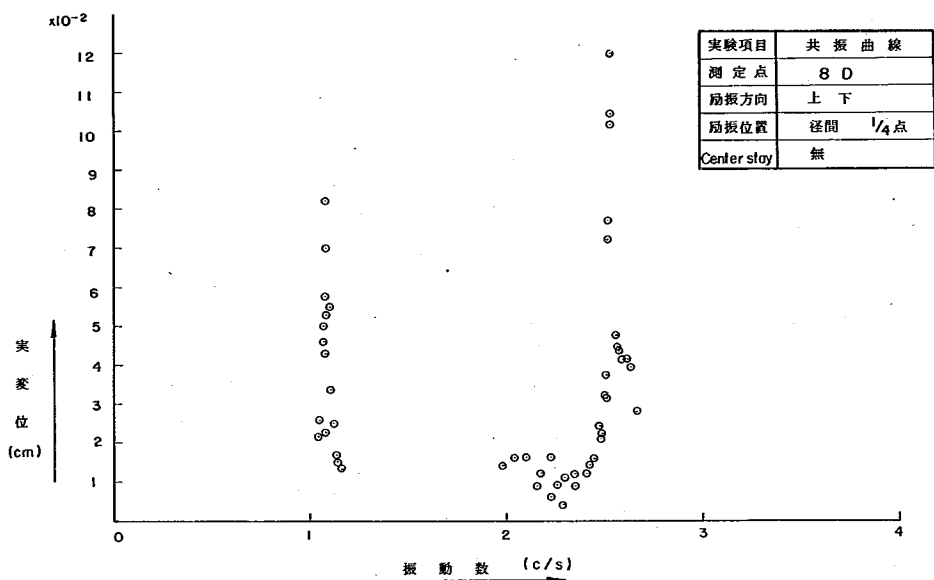


図-6-8 実変位換算変位

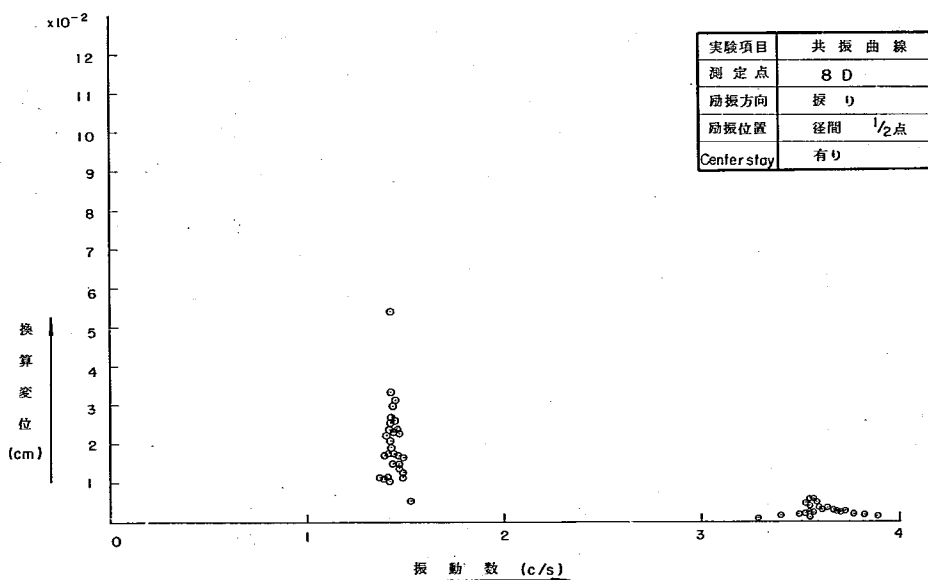
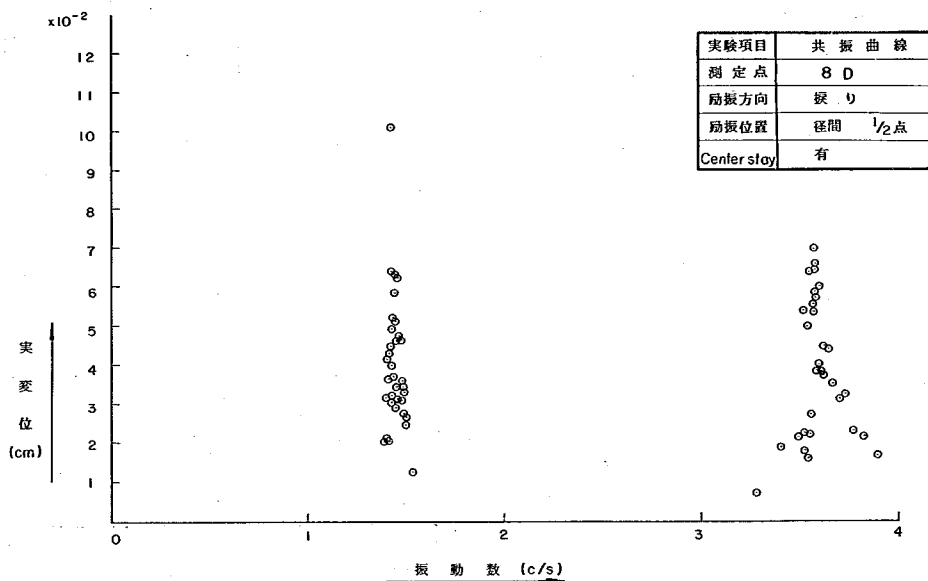


図-6-9 実変位換算変位

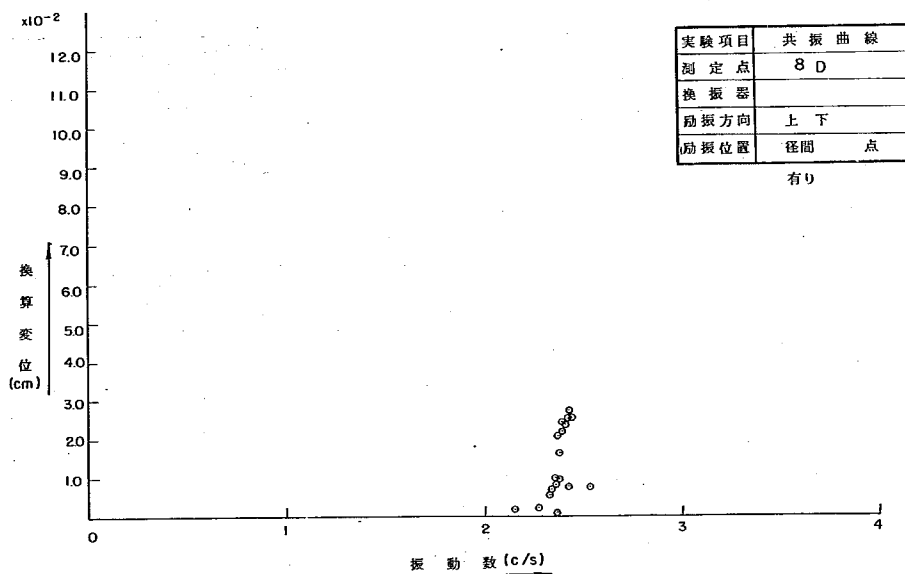
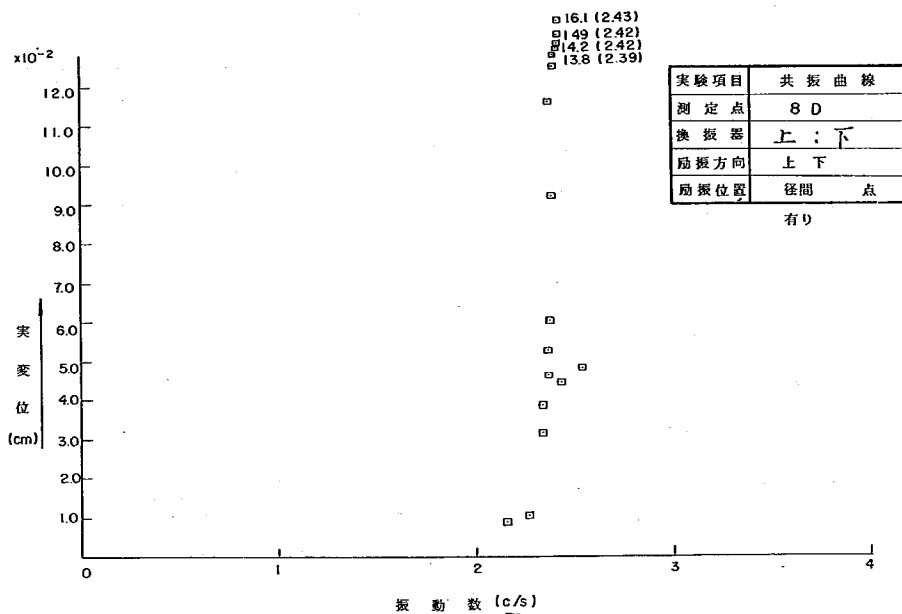


図 - 6 - 10 実変位換算変位

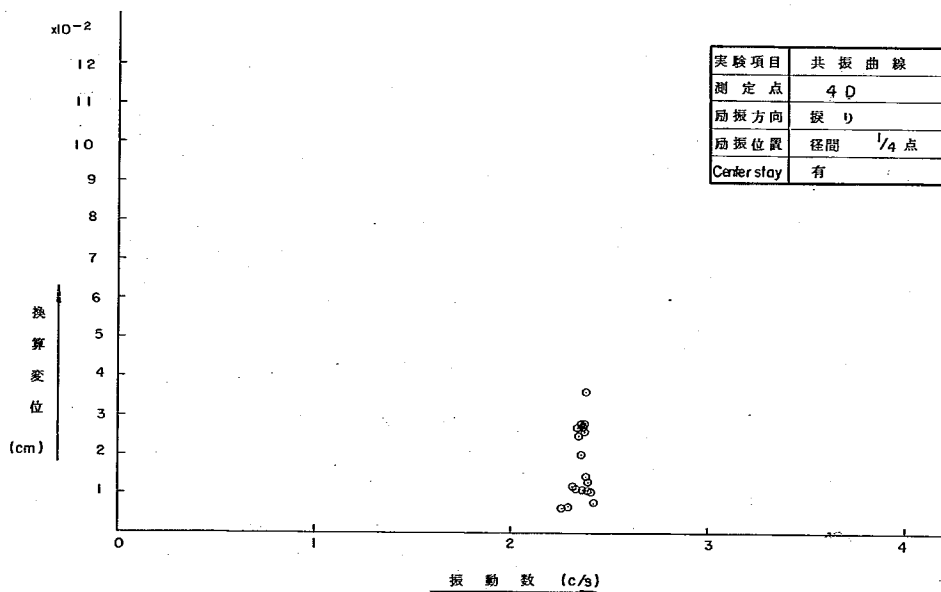
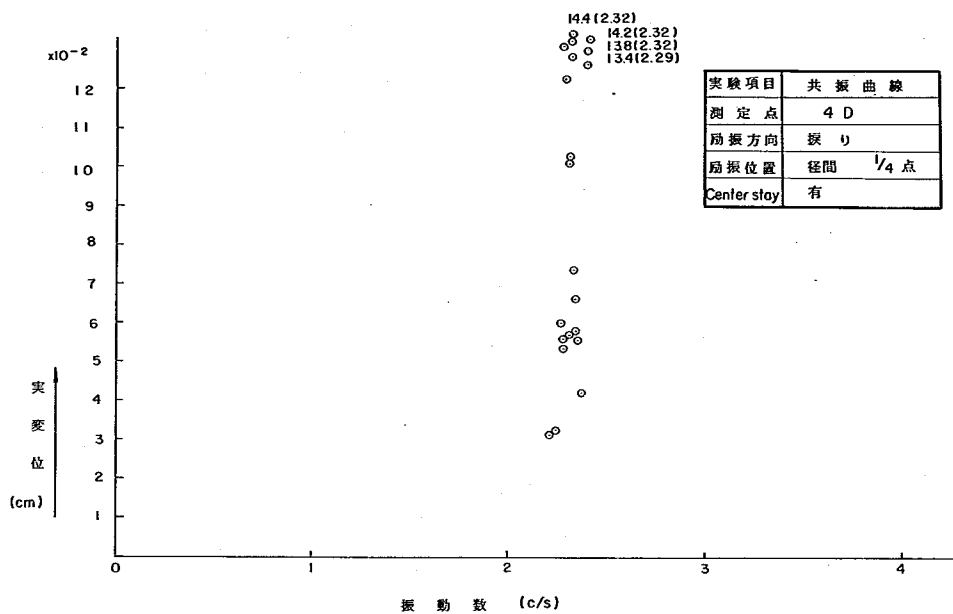


図-6-11 実変位換算変位

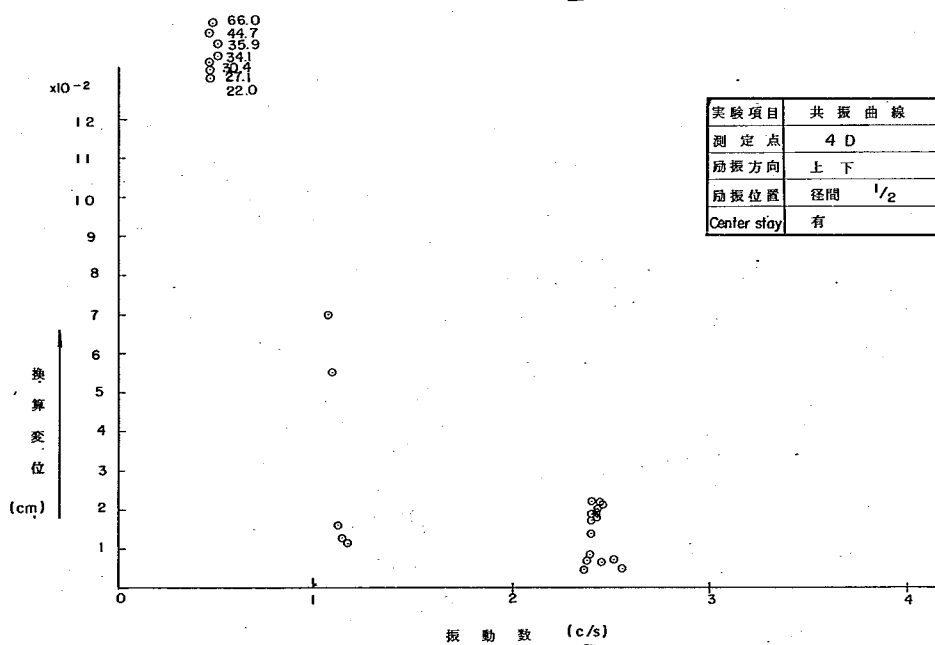
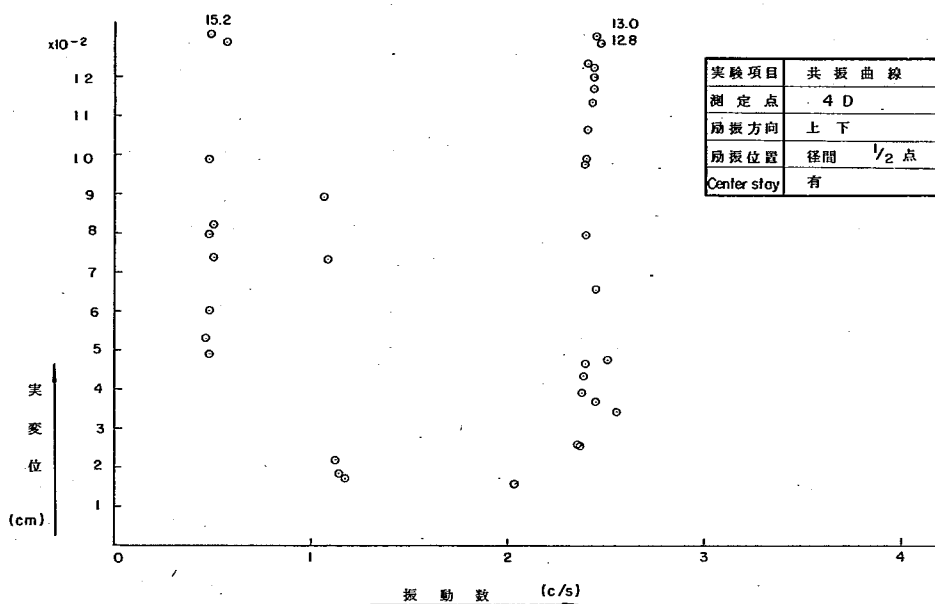


図-6-12 実変位換算変位

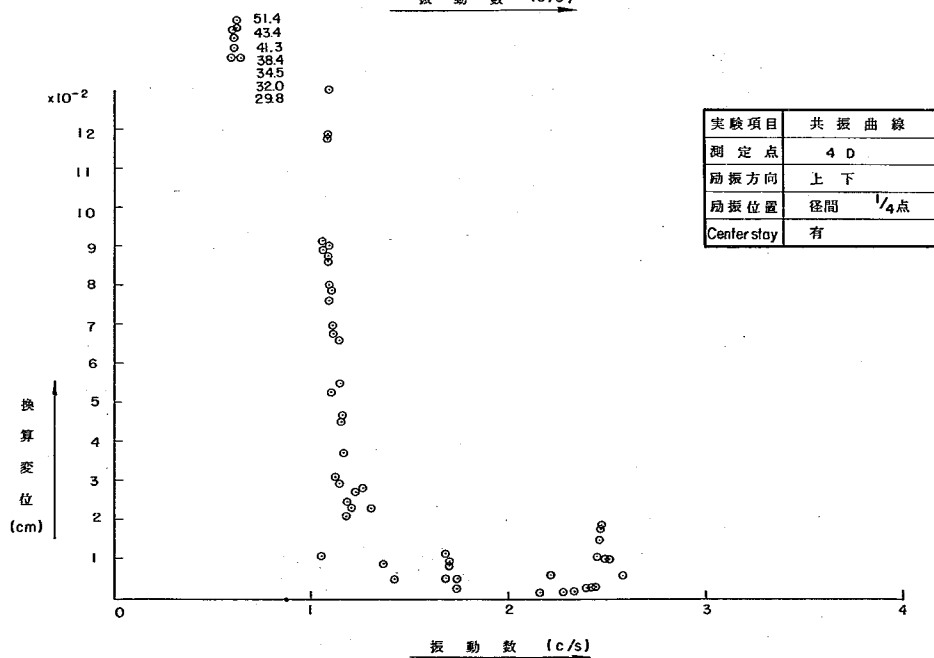
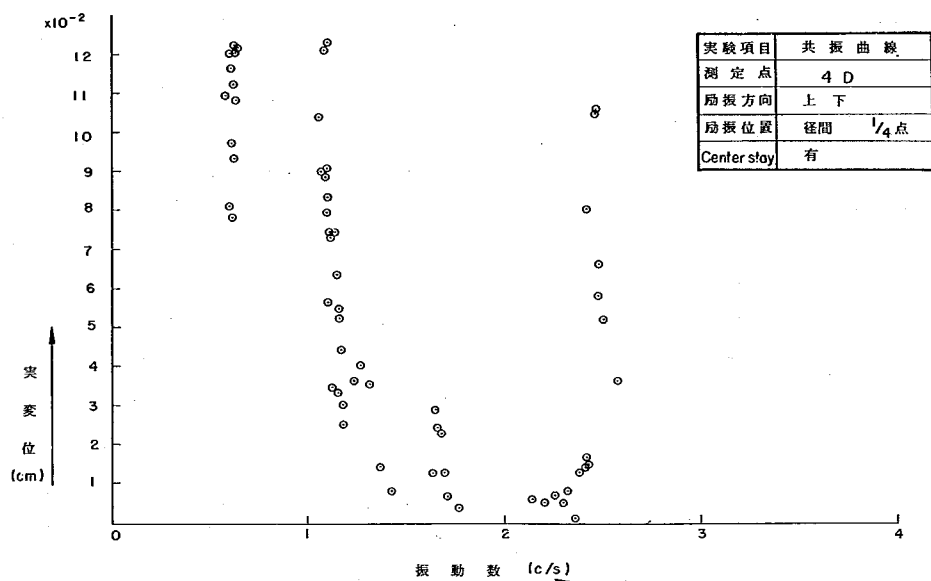


図-6-13 実変位換算変位

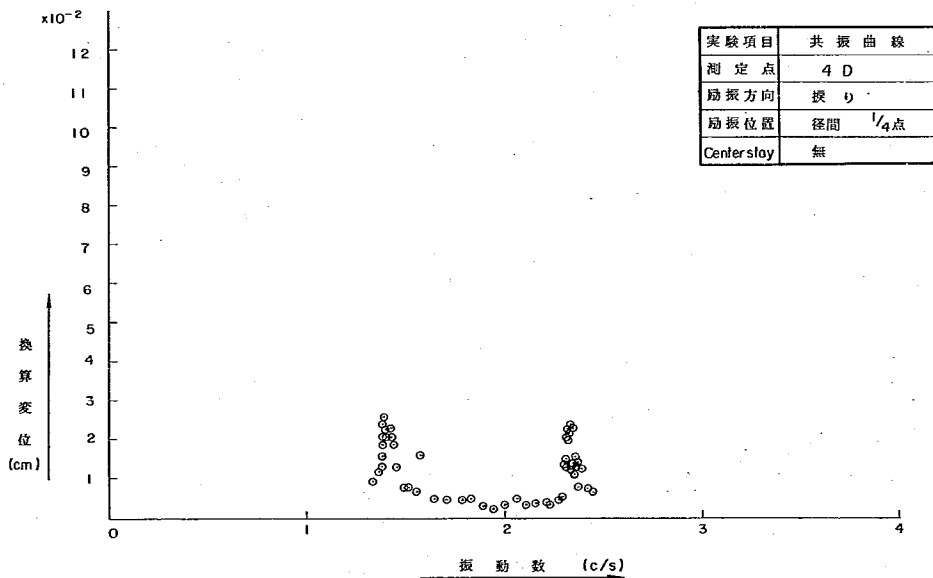
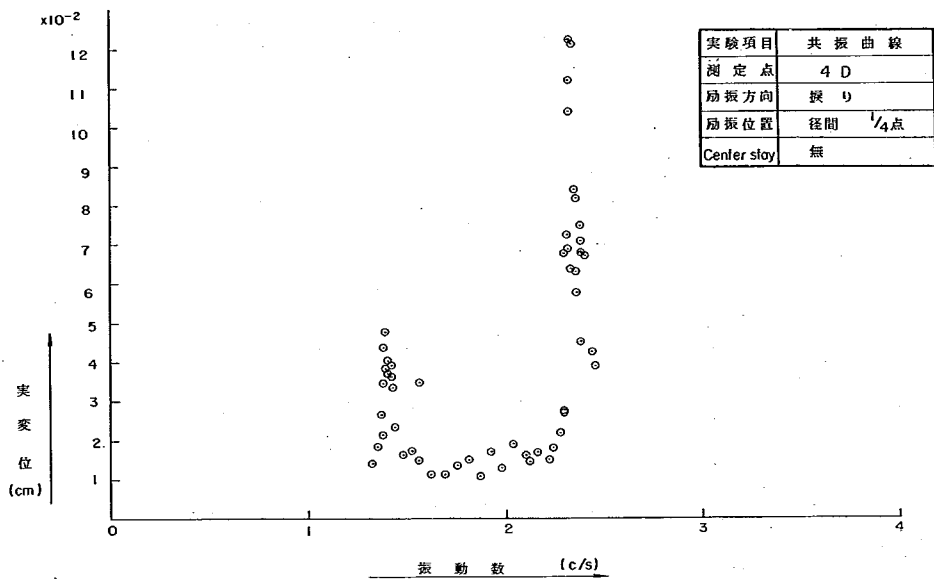


図-6-14 実変位換算変位

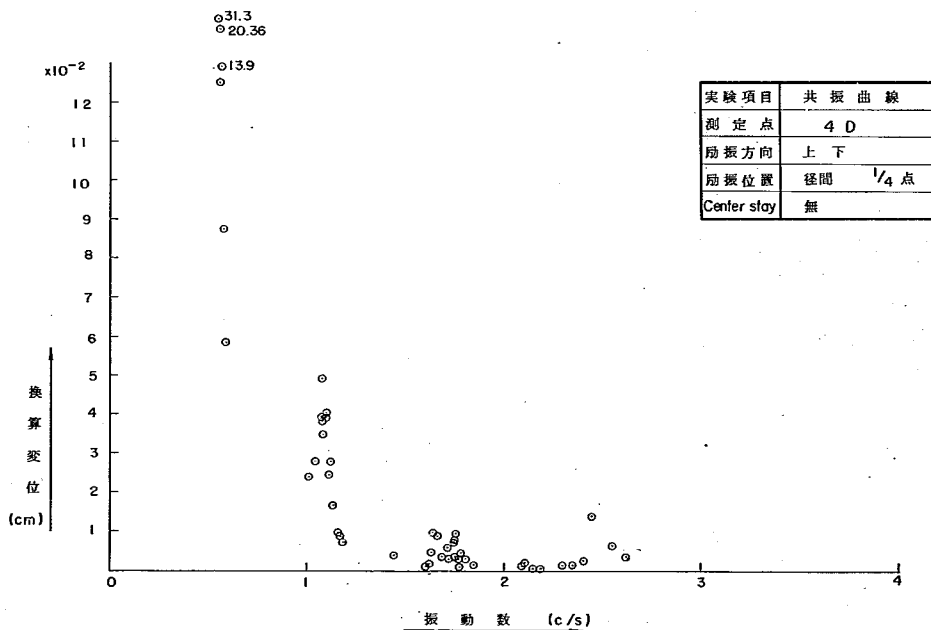
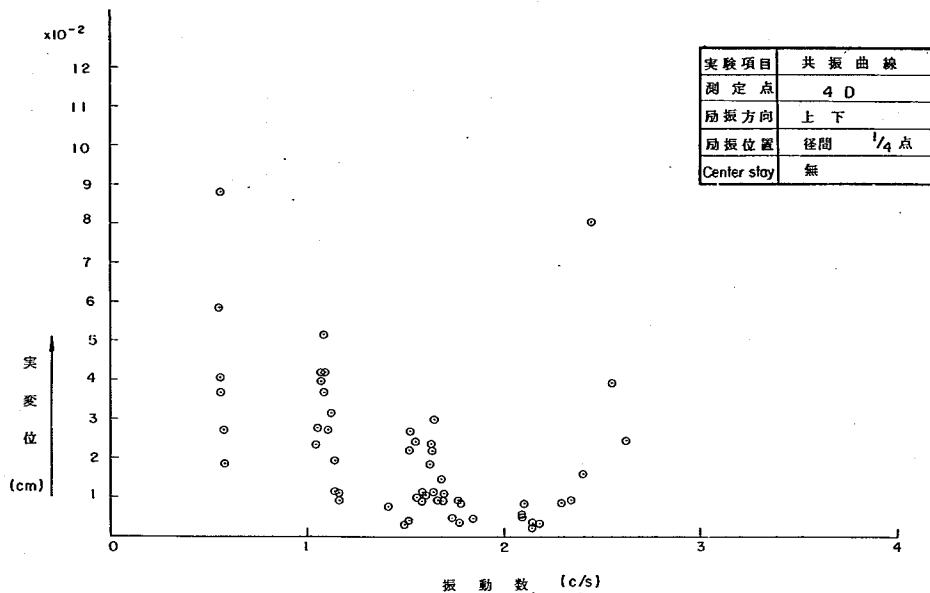


図 - 6 - 15 実変位換算変位

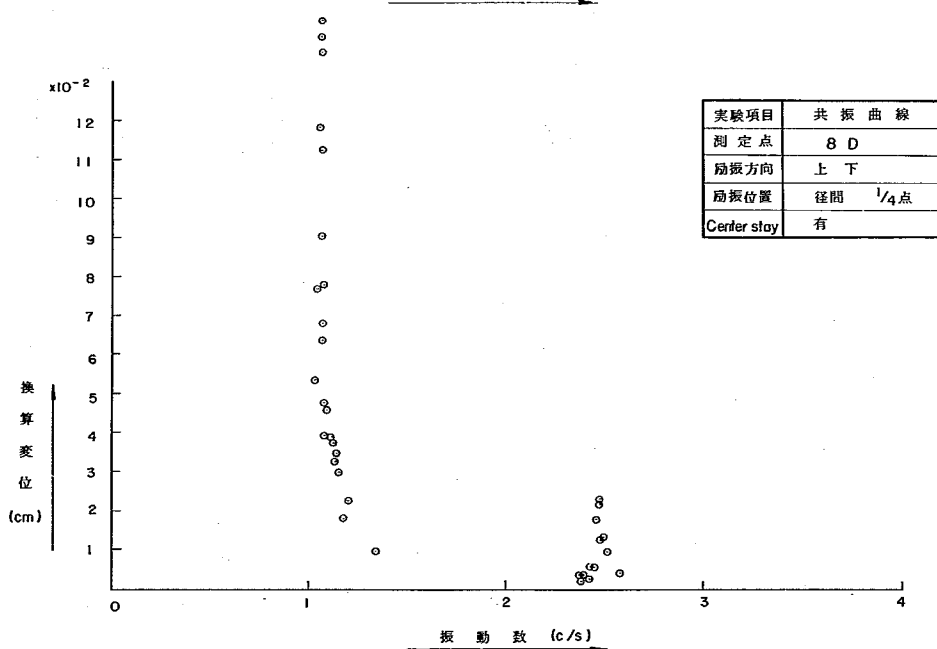
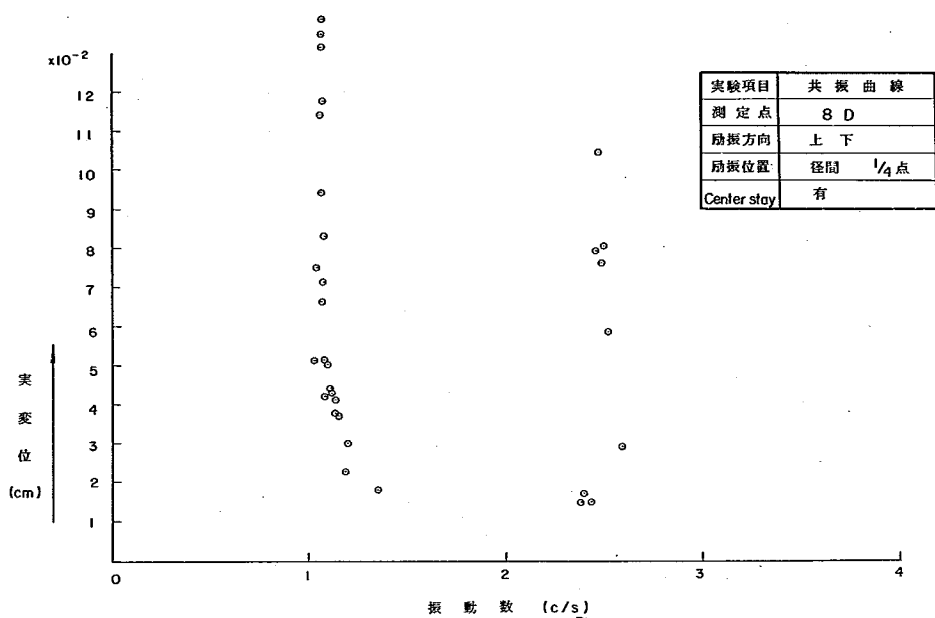


図-6-16 実変位換算変位

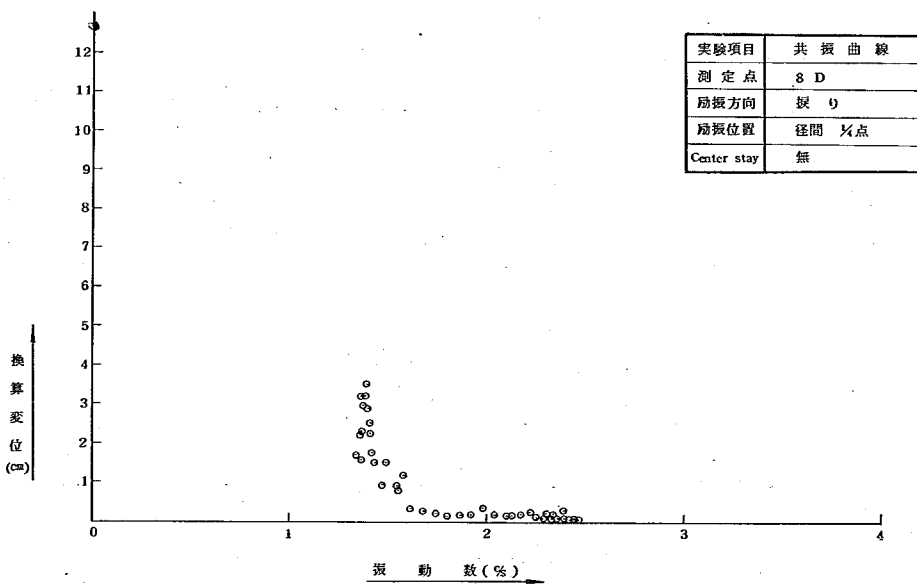
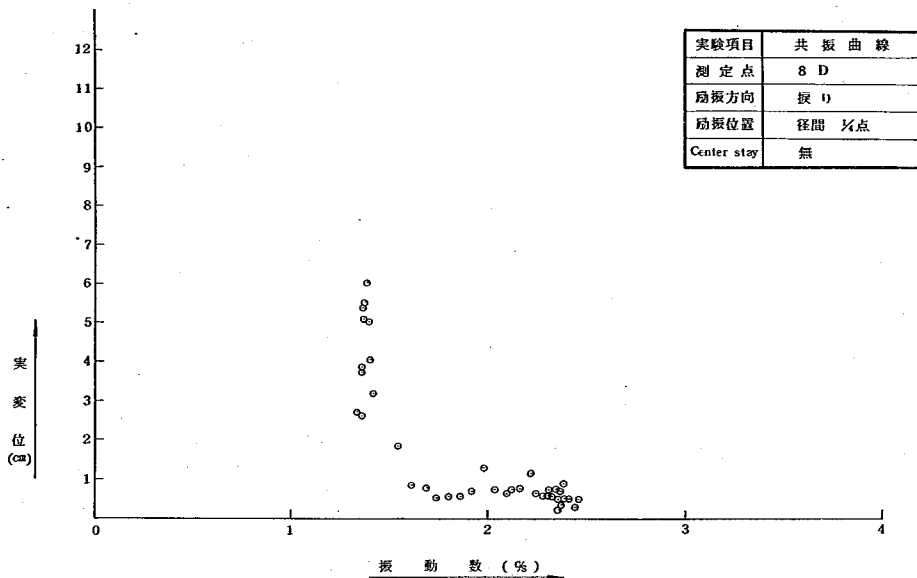
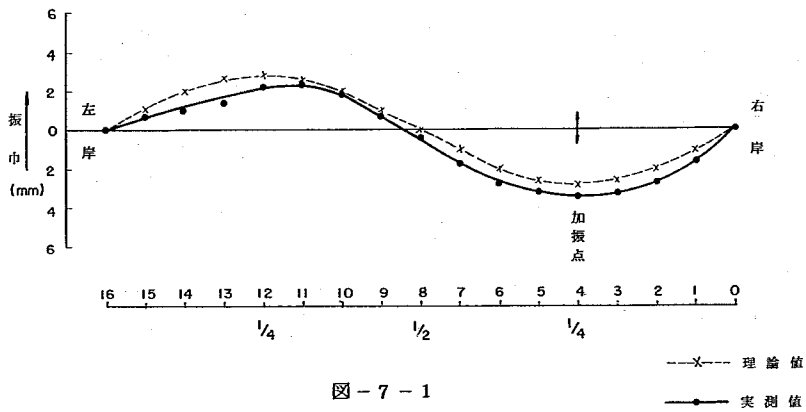


図 - 6 - 17 実変位換算変位

表 - 3 共 振 振 動 数

加 振 位 置	$\frac{1}{2}$ 徑 間				$\frac{1}{4}$ 徑 間			
	有		無		有		無	
センタースティの有無	c/s	振動波形	c/s	振動波形	c/s	振動波形	c/s	振動波形
鉛 直 振 動	0.50		試 験 無		0.62		0.55	
	1.06				1.07~1.09		1.08	
	2.43				1.65		1.62	
					2.47		2.50~2.53	
傾 り 振 動	1.42		試 験 無				1.39	
	1.92				2.32		2.33	
	3.57							

実 験 項 目	共 振 波 形
励 振 位 置	4 点 ($\frac{1}{4}$)
励 振 方 向	上 下
励 振 振 動 数	0.50 c/s



实 验 项 目	振 动 波 形
励 振 位 置	8 点 ($1/2$)
励 振 方 向	上 下
励 振 振 动 数	0.55 c/s

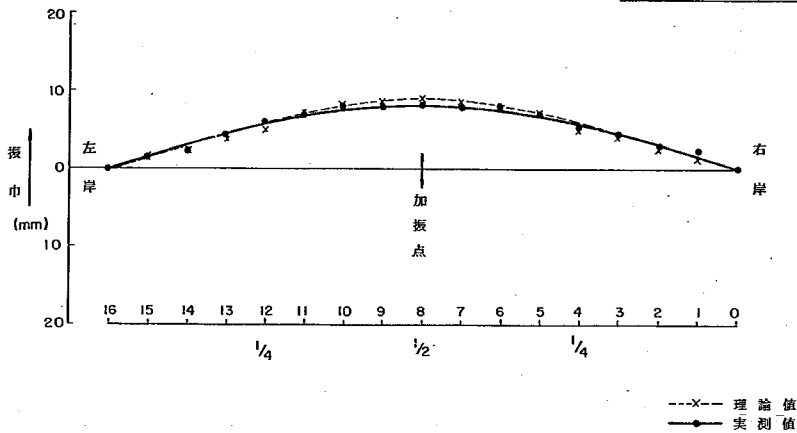


图 - 7 - 2

实 验 项 目	振 动 波 形
励 振 位 置	12 点 ($1/4$)
励 振 方 向	上 下
励 振 振 动 数	1.08 c/s

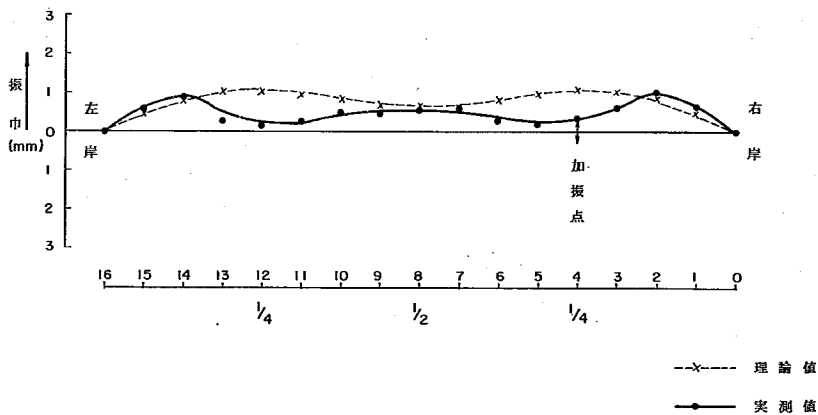


图 - 7 - 3

実験項目	共振波形
励振位置	8点 ($1/2$)
励振振動数	1.42 c/s
励振方向	振り

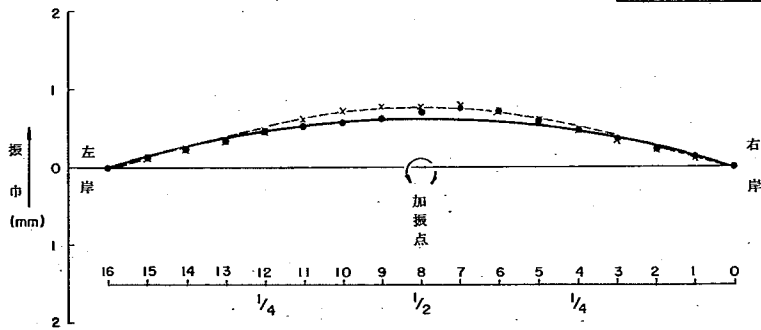


図-7-4

---x--- 理論値
—●— 実測値

実験項目	振動波形
振動位置	4点 ($1/4$)
励振振動数	2.33 c/s
励振方向	振り

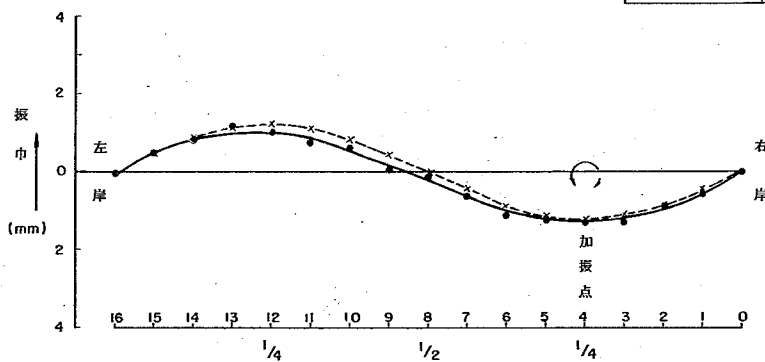


図-7-5

---x--- 理論値
—●— 実測値

表 - 4 対数減衰率

加振位置 センタース ティの有無	$\frac{1}{2}$ 径 間						$\frac{1}{4}$ 径 間					
	有			無			有			無		
	次数	%	対数減衰率	次数	%	対数減衰率	次数	%	対数減衰率	次数	%	対数減衰率
鉛直振動	2	0.50	0.018 ~0.022	試験 無				0.62	0.062	2	0.55	0.075
	3	1.06	0.015 ~0.038				3	1.07 ~1.09	0.038 ~0.040	3	1.08	0.094 ~0.105
	5	2.43	0.032 ~0.039				4	1.65	0.027			
							5	2.47	0.031 ~0.040			
捩り振動	1	1.42	0.075 ~0.125	試験 無				1.39	0.106	1	1.39	0.064
	3	3.57	0.053 ~0.054				2	2.32	0.057 ~0.075	2	2.32	0.056 ~0.073

4.2 考 察

4.2.1 補剛構の曲げ剛性

設計時には補剛構のみの曲げ剛性が考慮されているが、実際の構造物では主ケーブルや床版、補装、地震、縦桁などの床組構造が附加的な剛性を有すると考えられる。これらのうちケーブルの寄与分を無視し、床組部分のみでどの程度の作用があるかを静的載荷試験の結果から推定してみよう。

静的載荷試験は全重量 16.1ton（前輪軸重 4.4ton，後輪軸重 11.7ton，軸間距離 4,220mm）のトラックを橋面上の適当な位置に載荷し、橋面各点の撓みをレベルで測定する方法を持った。得られた結果は表 - 5 に示したとおりである。

一方、各構成部分の寄与を考慮して吊構造部の曲げ剛性を求めると図 - 8 の如くなる。そこで、上下弦材による曲げ剛性を基準としてこれに附加分を 20%，25%，30% 考慮した場合の各点の撓みを Appendix-A のプログラムに従って FACOM - 270-30 電子計算機を用いて計算した。その結果を表 - 5 に、またそれを図化したものを図 - 9 に掲げる。

図から計算値と実測値がすべての点で一致するような曲げ剛性は得られていないことに気付く、これは計算には支間全体で一様な剛性分布を仮定したこと、レベルによる測定誤差等にその原因があると考えられる。それにもかかわらず各載荷状態に対する最も確からしい曲げ剛性としては図 - 9 より基準値の 23% 増程度と考えられる。即ち、吊構造部の曲げ剛性は上下弦材の他に縦桁、床組部の可成りの部分の寄与が可成り大きいことが判る。このことは 4.2.3 に述べるように、本橋の動的挙動の解析からも確かめることができています。

表-5 撓み量(実測値ならびに計算値)

荷重点

測点	荷重点	3	5	7	9	11	13	15	17
4	実測	22	29	29	27	21	17	12	6
	1.00	28.7	40.3	43.1	39.7	32.4	23.1	13.1	3.5
	1.20	20.4	29.1	31.8	30.3	25.8	19.7	13.0	6.3
	1.25	17.3	24.9	27.5	26.5	23.1	18.3	12.8	7.3
	1.30	14.3	20.7	23.2	22.8	20.4	16.7	12.5	8.1
8	実測	20	32	43	46	46	34	25	16
	1.00	31.4	49.7	62.2	65.4	59.0	46.8	31.7	16.0
	1.20	23.5	37.3	46.9	50.1	46.7	38.9	28.8	18.1
	1.25	20.4	32.5	41.0	44.2	41.8	35.7	27.5	18.7
	1.30	17.4	27.7	35.1	38.2	36.8	32.3	26.1	19.1
13	実測	12	21	30	38	47	54	48	39
	1.00	16.3	28.1	40.0	50.8	58.6	60.6	54.1	41.9
	1.20	14.0	23.9	33.6	42.2	48.3	50.2	46.2	38.0
	1.25	13.1	22.1	30.9	38.6	44.2	46.1	43.0	36.4
	1.30	12.0	20.2	28.1	35.0	40.0	41.9	39.8	34.1
17	実測	0	4	13	21	29	38	44	47
	1.00	1.5	4.9	10.9	19.5	29.9	40.7	49.7	53.9
	1.20	4.0	8.1	13.8	21.0	29.1	37.2	43.6	46.5
	1.25	4.8	9.2	14.7	21.4	28.6	35.7	41.2	43.7
	1.30	5.5	10.1	15.5	21.6	28.0	34.0	36.4	40.7
13' (21)	実測	-1	-1	2	5	12	21	29	36
	1.00	-9.3	-12.8	-12.7	-8.4	-0.1	11.8	25.9	40.5
	1.20	-3.9	-4.7	-3.2	1.0	7.8	16.7	26.9	37.1
	1.25	-1.9	-1.7	0.4	4.5	10.7	18.5	27.1	35.6
	1.30	0.05	1.2	3.7	7.8	13.4	20.0	27.2	34.0
8' (26)	実測	-5	-7	-7	-6	-3	3	9	15
	1.00	-13.5	-20.3	-23.9	-23.7	-19.4	-11.3	0.3	14.6
	1.20	-7.6	-11.2	-12.7	-11.6	-7.9	-1.5	7.0	17.1
	1.25	-5.3	-7.8	-8.4	-7.0	-3.5	2.1	9.4	17.8
	1.30	23.2	-4.4	-4.2	-2.5	0.7	5.5	11.6	18.4
4 (30)	実測	-2	-6	-7	-7	-6	-2	0	0
	1.00	-9.1	-13.9	-16.8	-17.6	-15.9	-11.8	-5.5	2.6
	1.20	-5.4	-8.1	-9.6	-9.6	-8.0	-4.8	-0.1	5.7
	1.25	-3.9	-5.9	-6.8	-6.6	-5.0	-2.1	1.9	6.8
	1.30	-2.6	-3.7	-4.1	-3.6	-2.1	0.40	3.70	7.7

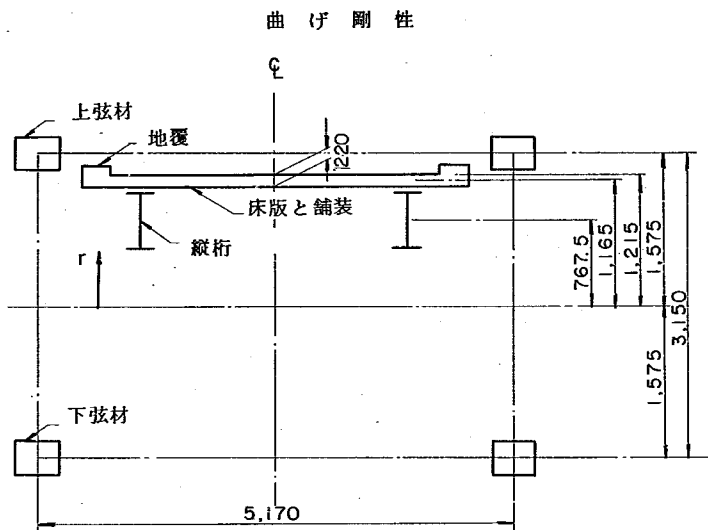
注. 第1段 実測値

第2段 弦材のみ有効

第3段 弦材の120%有効

第4段 弦材の125%有効

第5段 弦材の130%有効



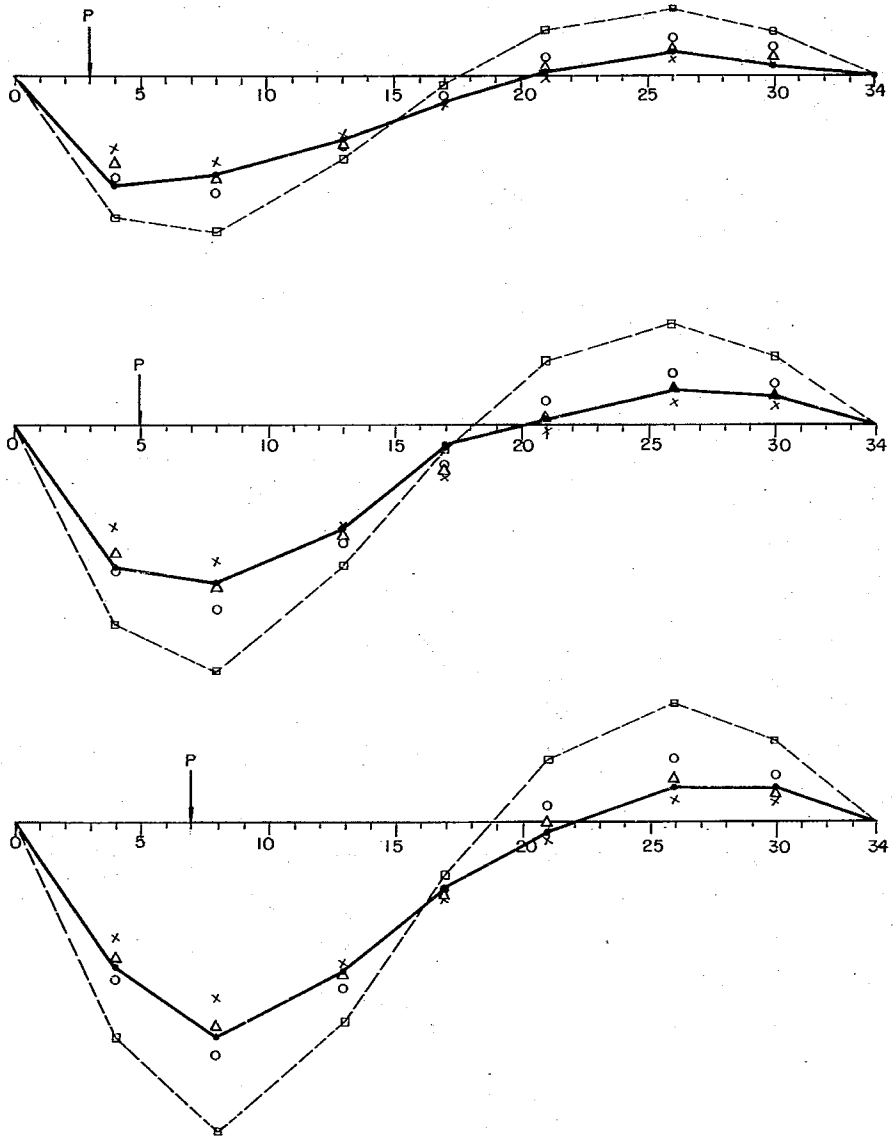
	Area (cm ²)	r (cm)	Ar (cm ³)	Ar ² (cm ⁴)	I _c (cm ⁴)
上 弦 材	2×134.7	157.5	42,430	6,682,804	
下 弦 材	2×148.3	-157.5	-46,715	7,357,534	
縦 桁	2×84.5	76.8	12,963	996,803	68,906
床版と舗装*	902	116.5	105,083	12,242,170	
地 覆	224	121.5	27,216	3,306,744	

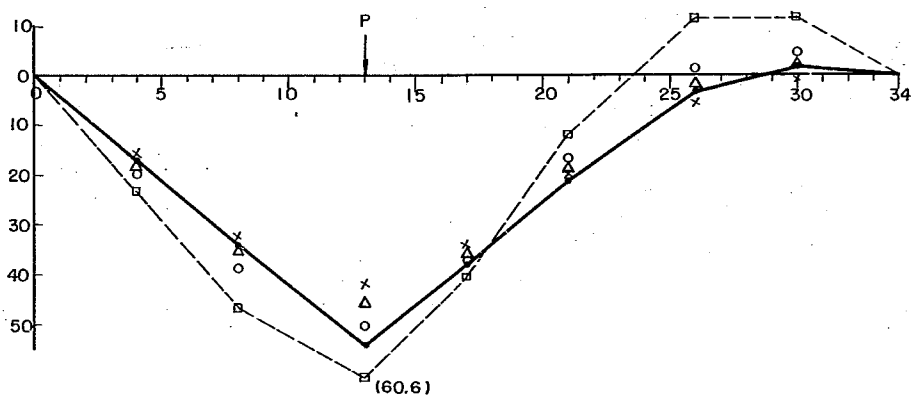
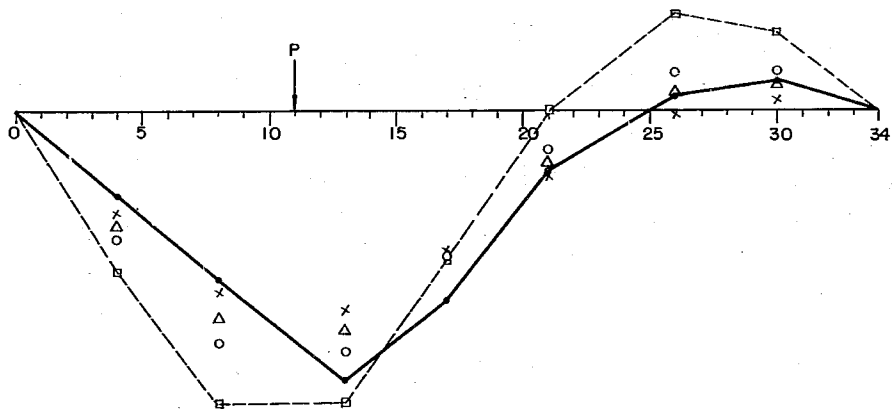
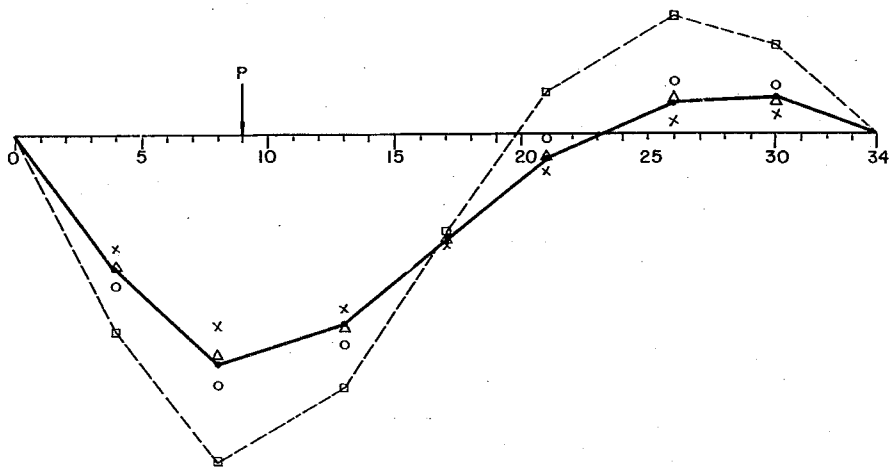
	A (cm ²)	Ar (cm ³)	δ (cm)	Ar · δ (cm ⁴)	I (cm ⁴)	I (cm ⁴)
Case 1. (弦材のみ)	566	-4,285	-7.6	32,437	14,040,338	14,007,901
Case 2. (弦材と縦桁)	735	8,678	11.8	102,487	15,106,047	15,003,560
Case 3. (弦材と床版と舗装)	1,468	100,798	68.7	6,920,791	26,282,508	19,361,717
Case 4. 弦材と縦桁と 床版と舗装	1,637	113,761	69.5	7,905,252	27,348,217	19,442,965

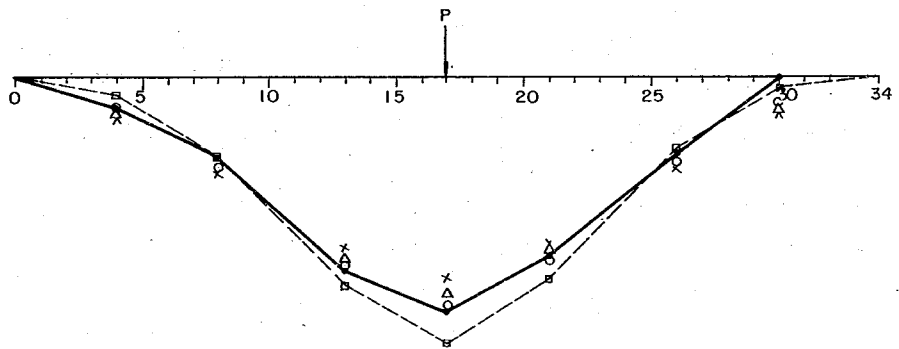
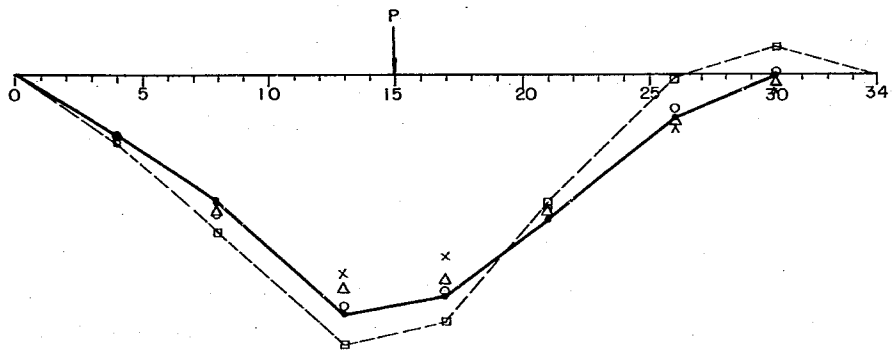
* E_c/E_s = 1/10 assumed

図-8 吊構造部の断面二次モーメント

図-9 撓み実測値並びに計算値



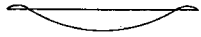
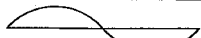
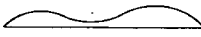
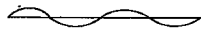




4.2.2 補剛構の捩れ剛性

吊橋補剛構の厳密な捩れ剛性を求めることは現段階では不可能である。上下横構を有する閉じたトラス面で構成される上路型断面についてはBleichなどの研究があるが、中路型乃至下端型については理論解析も行われていない。本橋の場合には有効幅員が狭小のため捩れを想定した静的載荷試験が行なわれなかったため、剛性の推定は振動試験の結果のみより行なわねばならない。更に、固有振動数を用いる場合には吊構造部の回転中心（即ち極慣性モーメント）をどこに推定するかという厄介な問題が重畳する。このような事情のため今回は、上下弦材中心の $\frac{1}{2}$ 点より10%だけ上方の位置に回転中心があるものと想定し、Bleichの計算式に従った場合、有効構高がどれだけになるかを算定するに止めることとした。プログラムはAppendix-Bのものを使用した。計算結果は表-7のとおりである。これを実測値と比較すると有効桁高として、2.25m程度の値をとることが妥当であると結論されよう。

表-6 鉛直曲げ振動の固有振動数

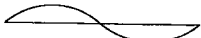
振動名	次数	固有振動数	振動波形
撓み振動	1	0.54	
	2	0.51	
	3	1.10	
	4	1.87	
	5	2.89	

4.2.3 固有振動数と振動波型

上述の如く、静的載荷試験結果より修正した曲げ剛性を用いて計算した鉛直曲げ振動数は表-6のとおりである。これと表-3の実測値とを比較するとその差は2%程度であることがわかる。一方、捩れ振動の結果についてはすでに捩れ剛性の場合に述べた理由により、これ以上は追求できない。

次に、振動波型は鉛直曲げ振動のうち高次のものの波型が計算値と実測値で可成り食い違っているほかはほぼ満足な結果を与えていると云えよう。

表-7 捩り振動の固有振動数

振れ振動	桁高 次数	2.5	2.34	2.25	振動波形
	1	1.48	1.44	1.41	
動	2	2.58	2.47	2.41	
	3	3.93	3.77	3.67	

4.2.4 減衰係数

減衰係数については現状では実測値に頼らざるを得ないことはこれまでも述べたとおりである。

鉛直曲げ振動についてはこれまでの資料を表-8にまとめておく。

箱ヶ瀬橋については捩れ振動に表-4の結果が初めて実測され、鉛直曲げ振動に比べて大きな値を示している。

表-8 吊橋の自由振動実例

橋 名	スパン (m)	補剛けた	振動数 (cps)	対数減衰率	測 定 者
栄 橋	37.2+2×98.2+37.2	トラス	1.01	0.023	久 保
三 好 橋	31.5+139.9+31.5	"	0.83	0.040	
八 雲 橋	114	P G	0.66	0.030	
旅 足 橋	114	トラス	1.07	0.037	
瀬 戸 橋	125	"	1.89	0.023	
原 田 橋	137.6	"	0.80	0.023~0.046	
鷹 巣 橋	163	"	1.59	0.077	
Opstadaaen	72	P G	0.83	0.06	Selberg
Ekennsund	90	"	0.79	0.05	
Haugen	70	"	1.02	0.075	
Komnes	100	"	0.65	0.07	
Kolo	95	"	0.67	0.08	
Havaava		"	0.67	0.055	
Fossum	84	"	1.21~1.67	0.08	
Tynset	130	"	1.18	0.045	
Elvenum	160	"	0.96	0.04	
Kvebeug	89	"	0.84	0.185	
Atna	150	トラス	0.92	0.07	
Twin Ceeks	50	スラブ	0.57	0.07~0.14	Vincent
Tarr	83	トラス	0.46	0.15	
川 俣 大 橋	158	トラス	0.82, 1.50	0.11~0.14	土 研
若 戸 大 橋	87+367+87	"	0.36	0.046	
蘭 原 橋	136	"	1.38 (対称2次) 3.20 (対称3次) 2.16 (逆対称2次)	0.02~0.06	土 研
大 峰 橋	121.8	"	0.78 (対称1次) 1.61 (対称2次) 3.83 (対称3次) 2.62 (逆対称2次)	0.05~0.18	土 研
二 軒 橋	158.4	"		0.05~0.18	土 研
美 恵 橋	107	"	0.93	0.046	川 田
Golden Gate	343+1,280+343	"	0.11, 0.13	0.03	} (推定値)
Mackinac	549+1,158+549	"		0.05~0.08	

他形式の長径間橋梁

橋 名	形 式	主スパン(m)	振動数 (cps)	対数減衰率	備 考
第一只見川鉄道橋	バランストアーチ橋	112	4.0	0.035	
城ヶ島大橋	連続橋げた橋	96	1.14	0.03~0.07	
Norderelbe	連続斜張けた橋	172	0.62	0.035~0.05	

§ 5. 結 論

以上の結果から次のことが結論される。

- (1) 本橋の場合、曲げ剛性は主構の1.23倍が有効曲げ剛性として作用している。
- (2) 本橋の場合、有効桁高は約2.25 mで、これは床桁取付位置の高さにほぼ等しくなる。
- (3) 換算曲げ剛性を用いて計算した固有値は低次振動に対して実測値と一致する。
- (4) 平行線ケーブルを主案に用いた場合の減衰性は他のケーブル形式の場合と差はない。
- (5) 対数減衰率はたわみ振動で0.02～0.07また、振れ振動で0.055～0.075程度であり、明らかに振れ振動の場合の方が大きい。

§ 6. あ と が き

今回の実験は福井県、電源開発株式会社ならびに本橋の製作、架設に従事した八幡製鉄株式会社、ならびに宮地鉄工所の協力を得て実施したものである。特に宮地鉄工所よりは載荷試験の実測資料を借用した。以上の関係者に衷心より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とする。

構造研究室	研究員	榎	波	義	幸
	研究員	池	村	雅	司
		倉	繁		敏
		奥		繁	実
		檀	浦	満	郎
		山	崎	賢	一
		近	江	幸	雄

(参考文献)

- The mathematical theory of vibration in suspnsion bridges: F.Bleich et al
- 尾道大橋振動実験報告書 昭和43年3月 土研資料376 st-1, st.section
- 川俣大橋振動試験報告書 昭和39年3月 建設省土木研究所
- 菌原橋, 大峰橋振動試験報告書 昭和42年3月 建設省土木研究所
- 本州四国連絡橋耐風設計指針(1967)および同解説: 土木学会

Appendix 1 橋み計算プログラム

```

1000 B104
1001 COL LP
begin
  integer N,I,J,K;
  real LT,lg,ft,fg,h,LS,w,Hw,LNOBI,1,HR,LAMDA,EC,AC,EI,C,P,HP;
  READ(N);
  J:=0;
  begin
    array HP[0:501,D1[1:N-1,1:N-1],D1[1:N-1,1:N-1],D2[1:N-1,1:N-1];
    READ(LT,lg,ft,fg,h,LS,w,Hw,EC,AC,EI,P);
    Hw:=w*LT*(2/(8*ft));
    LNOBI:=lg*(1+8*(fg/1g)*2)+2*LS*(SQRT(LS*2+h*2)/LS)*3;
    1:=LT/N;
    HP[0]=1;
    HR:=Hw+HP[1];
  10: for I:=1 step 1 until N-1 do
    begin
      L1: J:=J+1;
      LAMDA:=fg*2*EC*AC/((Hw+HP[J-1])*1g*LNOBI);
      C:=SQRT((Hw+HP[J-1])/EI);
      HP[J]:=(LT/ft)*P*(0.5*I*1/LT*(1-I*1/LT)-((1-(COSH(C*LT*(0.5-I*1/LT))/COSH(C*LT/2)))/(C*LT)*2))/
        (2/3-8*(1-SINH(C*LT/2)/COSH(C*LT/2))/(C*LT/2))/(C*LT)*2+1/(8*LAMDA));
      if HP[J]/HP[J-1]<1.001 and HP[J]/HP[J-1]>0.999 then go to L2 else go to L1;
    L2: HP:=HP[J]; HR:=Hw+HP; CRLF;
      for K:=1 step 1 until N-1 do
        begin
          if K=I then go to L3 else go to L4;
          L3: D1[I,K]:=P*LT/HR*((C*I)/LT*(1-I*1/LT))-SINH(C*K*1)*SINH(C*LT*(1-I*1/LT))/(C*LT*SINH(C*LT));
          go to L5;
          L4: D1[I,K]:=P*LT/HR*((I*1/LT*(1-K*1/LT))-SINH(C*I*1)*SINH(C*LT*(1-K*1/LT))/
            (C*LT*SINH(C*LT)));
          L5: D2[I,K]:=HP*6*ft/HR*(0.5*K*1/LT*(1-K*1/LT)-1/((C*LT)*2)*
            (1-COSH(C*LT*(0.5-K*1/LT))/COSH(C*LT/2)));
          D1[I,K]:=D1[I,K]-D2[I,K];
          PUTS(6,'10B'D1*22D.D,' '*22D.D,' '='.10D1+2D/','I,K,D1[I,K]);
        end;
      end;
    end;
  end;
  PRESL STORE
  1K
  16,204.0,201.0,21.575,22.0,60.0,24.763,3.47,20000000.0,0.026542,
  2042136.0,16.1,

```

Appendix 2 固有値プログラム

!JOB B120
!ALGOL LP

```
begin comment EIGEN*FREQUENCY*OF*A*SINGLE-SPAN*SUSPENSION*BRIDGE*WITH*UNLOADED*BACKSTAY;
  real LE,LK,LR,FR,F,BL1,BL2,BH1,BH2,AC,W,P,S,LAMDA,A,DEP,HW1,A1,B1,C1,K,WS,XA1,XA2,XA3,XA4,XA5,XXA1,XXA2,XXA3,
    XXA4,XXA5,NFA1,NFA2,NFA3,NFA4,NFA5,PERA1,PERA2,PERA3,PERA4,PERA5,AMP1,AMP2,AMP4,AMP5,AMP11,AMP13,NV,PN,NH,
    B,C,BE,AV,AH,EV,EH,Y,MR,WSR,WST,WC,SS,LGAMTA,KK,RR,A2,B2,C2,BR,XT1,XT2,XT3,XXT1,XXT2,XXT3,NFT1,NFT2,NFT3,
    PERT1,PERT2,PERT3,AMPT11,AMPT13,TOKU,TOKU1;

  START:
  READ(LK);
  if LK=0 then go to END2;
  READ(LR,FR,BL1,BL2,BH1,BH2,AC,A,W,WSR,WST,WC,B,DEP,PN,C,AV,AH,BR);
  F=FR*(LK/LR)^2;
  LE=LK*(0.25*(2.5+16.0*(F/LK)^2)*SQRT(1.0+16.0*(F/LK)^2));
  OUT1(6, 'LE='2B-4Z.3D3B/, LE);
  TOKU=(SQRT(1.0+16.0*(F/LK)^2)+4.0*F/LK)/(SQRT(1.0+16.0*(F/LK)^2)-4.0*F/LK);
  OUT1(6, 'TOKU='2B-4Z.3D3B/, TOKU);
  TOKU1=LK(TOKU);
  OUT1(6, 'TOKU1='2B-4Z.3D3B/, TOKU1);
  LE=LE+LK*3.0*LK/(64.0*F)*TOKU1;
  LE=LE+SQRT(BL1^2+BH1^2)+SQRT(BL2^2+BH2^2);
  OUT1(6, 'LE='2B-4Z.3D3B/, LE);
  P=3.1416*LK*LE/(16.0*F*2.0*10.0^7*AC);
  OUT1(6, 'P='2B-4Z.3D3B/, P);
  S=W*LR^2/(9.8*3.1416^2);
  OUT1(6, 'S='2B-4Z.3D3B/, S);
  LAMDA=3.1416^2*2.1*10.0^7*A*DEP^2/LR^2;
  OUT1(6, 'LAMDA='2B-4Z.3D3B/, LAMDA);
  K=32.0*FR/3.1416^3;
  OUT1(6, 'K='2B-4Z.3D3B/, K);
  HW1=W*LR^2/(8.0*FR);
  OUT1(6, 'HW1='2B-4Z.3D3B/, HW1);
  A1=9.0*P*S^2;
  OUT1(6, 'A1='2B-4Z.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-4Z.3D3B/, B1);
  C1=9*P*(HW1+LAMDA)*(9*HW1+81*LAMDA)+K/9/P*(HW1+LAMDA)+K/P*(9*HW1+81*LAMDA);
  OUT1(6, 'C1='2B-4Z.3D3B/, C1);
  WS=W-WC;
  OUT1(6, 'WS='2B-4Z.3D3B/, WS);
  EJECT:
  OUTO(6, '5/3*CALCURATION*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);
  OUTO(6, '5/5B*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);
  OUT1(6, '10B*CABLE*SAG*IN*THEORETICAL*SPAN*.....', 2B-4Z.1D9B, 'M.*2/, FR);
  OUT1(6, '10B*CROSS*SECTIONAL*AREA*OF*THE*CABLE*.....', 5B-1Z.3D7B, 'M^2./BRIDGE*2/, AC);
  OUT1(6, '10B*DISTANCE*OF*STIFFENING*GIRDER*.....', 4B-2Z.2D6B, 'M.*2/, B);
  OUT1(6, '10B*DEPTH*OF*STIFFENING*GIRDER*.....', 4B-2Z.2D6B, 'M.*2/, DEP);
  OUT1(6, '10B*DEAD*WEIGHT*OF*SUSPENSION*BRIDGE*.....', 4B-2Z.3D7B, 'TON/M./BRIDGE*2/, W);
  OUT1(6, '10B*DEAD*WEIGHT*OF*THE*CABLE*.....', 4B-2Z.3D7B, 'TON/M./BRIDGE*2/, WC);
  OUT1(6, '10B*DEAD*WEIGHT*OF*SUSPENDED*STRUCTURE*.....', 4B-2Z.3D7B, 'TON/M./BRIDGE*2/, WS);
  OUT1(6, '10B*HORIZONTAL*COMPONENT*OF*CABLE*TENSION*.....', 5B-2Z.2D6B, 'TON/BRIDGE*2/, HW1);
  EJECT:
  CRLF(10);
```

```

OUTO(6,'10B'VERTICAL*VIBRATION'/*);
If B1*2-4.0*A1*C1<0.0 then
begin OUTO(6,'100B'IMAGINACY*SOLUTION'/*); go to END end
else
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);
CRLF(2);
If XA3<0.0 then
begin OUTO(6,'100B'IMAGINACY*SOLUTION'/*); go to END end
else
OUTO(6,'100B'REAL*SOLUTION'/*);
XA2=9.8*3.1416*2*4.0*(HW1+4.0*LAMDA)/(W*LR*2);
XA4=16.0*3.1416*2*9.8*(HW1+16.0*LAMDA)/(LR*2*W);
XA5=(25.0*HW1+625.0*LAMDA+K/(25.0*P))/S;
XXA1=SQRT(XA1); XXA2=SQRT(XA2); XXA3=SQRT(XA3); XXA4=SQRT(XA4); XXA5=SQRT(XA5);
NFA1=XXA1/6.2832; NFA2=XXA2/6.2832; NFA3=XXA3/6.2832; NFA4=XXA4/6.2832; NFA5=XXA5/6.2832;
PERA1=1.0/NFA1; PERA2=1.0/NFA2; PERA3=1.0/NFA3; PERA4=1.0/NFA4; PERA5=1.0/NFA5;
AMP1=1.0;
AMP2=0.0;
AMP4=0.0; AMP5=0.0;
AMP11=(S*XA1-HW1-LAMDA)/(3.0*(S*XA1-9.0*HW1-61.0*LAMDA));
AMP13=(S*XA3-HW1-LAMDA)/(3.0*(S*XA3-9.0*HW1-61.0*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'MAIN*SPAN*2'/*);
OUTS(6,'16B'1ST*MODE*10B-2Z.6D3B,-1Z.6D3B,-2Z.4D9B,10B-1Z.4D3B,-1Z.5D10/*,XXA1,NFA1,PERA1,AMP1,AMP11);
OUTS(6,'16B'2ND*MODE*10B-2Z.6D3B,-1Z.6D3B,-2Z.4D9B,10B-1Z.4D3B,-1Z.5D10/*,XXA2,NFA2,PERA2,AMP1,AMP2);
OUTS(6,'16B'3RD*MODE*10B-2Z.6D3B,-1Z.6D3B,-2Z.4D9B,10B-1Z.4D3B,-1Z.5D10/*,XXA3,NFA3,PERA3,AMP1,AMP13);
OUTS(6,'16B'4TH*MODE*10B-2Z.6D3B,-1Z.6D3B,-2Z.4D9B,10B-1Z.4D3B,-1Z.5D10/*,XXA4,NFA4,PERA4,AMP1,AMP4);
OUTS(6,'16B'5TH*MODE*10B-2Z.6D3B,-1Z.6D3B,-2Z.4D9B,10B-1Z.4D3B,-1Z.5D10/*,XXA5,NFA5,PERA5,AMP1,AMP5);
OUTO(6,'10B'TORTIONAL*VIBRATION*2'/*);
NV=(SQRT(DEP*2+PN*2))/3/(DEP*2*PN);
NH=(SQRT(B1*2+C*2))/3/(B1*2*C*2.0);
BE=B*DEP/(NV*DEP*2/AV+NH*B*2/AH);
EV=0.5*B-NV*BE*DEP/AV;
EH=0.5*DEP-NH*BE*B/AH;
Y=0.5*W*(DEP*2*EV*2+B1*2*EH*2);
WR=USR*((0.4*W*DEP*2+BR*2/12.0)/9.8+WST*(0.35*B)*2/9.8+WC*B*2/(4.0*9.8);
SS=WR*LR/4.0;
LGAMMA=2.1*10.0*7*W*3.1416*4/(2.0*LR*3);
KK=2.0*10.0*7*W*3.2*0*FR*2*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;
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 OUTO(6,'100B'IMAGINACY*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 OUTO(6,'100B'IMAGINACY*SOLUTION'/*); go to END end
else
OUTO(6,'100B'REAL*SOLUTION'/*);
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*XT1-61.0*LGAMMA-9.0*RR));
AMPT13=((SS*XT5-LGAMMA-RR)/(3.0*(SS*XT5-61.0*LGAMMA-9.0*RR));
OUTO(6,'44B'FREQUENCY*AND*PERIOD*23B'MODE*OF*VIBRATION*2/');
OUTO(6,'37B'CIRC.FREQ.*3B'NATU.FREQ.*3B'PERIOD*23B'MAIN*SPAN*2/');
OUT5(6,'16B'1ST*MODE*10B-2Z.603B,-1Z.603B,-2Z.409B,10B-1Z.403B,-1Z.50/' ,XXT1,NFT1,PERT1,AMP1,AMPT11);
OUT5(6,'16B'2ND*MODE*10B-2Z.603B,-1Z.603B,-2Z.409B,10B-1Z.403B,-1Z.50/' ,XXT2,NFT2,PERT2,AMP1,AMP2);
OUT5(6,'16B'3RD*MODE*10B-2Z.603B,-1Z.603B,-2Z.409B,10B-1Z.403B,-1Z.50/' ,XXT3,NFT3,PERT3,AMP1,AMPT13);
END:
go to START;
END2:
OUTO(6,'3/100B'END');
end;

PRBL STORE
IX
206.0,204.0,22.0,60.0,60.0,24.763,24.763,0.02634,0.01146,3.843,2.764,0.761,0.318,5.17,3.15,3.0,6.0,0.004576,
0.002622,4.8,
206.0,204.0,22.0,60.0,60.0,24.763,24.763,0.02634,0.01146,3.843,2.764,0.761,0.318,5.17,3.0,3.0,6.0,0.004576,
0.002622,4.8,206.0,204.0,22.0,60.0,60.0,24.763,24.763,0.02634,0.01146,3.843,2.764,0.761,0.318,5.17,2.75,3.0,
6.0,0.004576,0.002622,4.8,
206.0,204.0,22.0,60.0,60.0,24.763,24.763,0.02634,0.01146,3.843,2.764,0.761,0.318,5.17,2.5,3.0,6.0,0.004576,0.002622,
4.8
206.0,204.0,22.0,60.0,60.0,24.763,24.763,0.02634,0.01146,3.843,2.764,0.761,0.318,5.17,2.0,3.0,6.0,0.004576,0.002622,
4.8,0.0,

```