

企画室(図書室)

道路事業調査

大規模特殊事業計画調査

本州・四国連絡架橋調査

耐震調査 | 資料番号 12

土木研究所資料

第 3 2 6 号

吊橋上部構造全橋模型による振動実験

B—概略設計 L 1500 M

B—2: 実験 (2) 吊橋主塔の地震応答

昭和 4 3 年 3 月

建設省土木研究所耐震調査室

まえがき

本資料は、本州四国連絡架橋調査・耐震調査の一環である三径間吊橋上部構造の全橋模型による検証実験に関する報告として、土木研究所資料第182、183、283号に示した報告につづいて、現在までの経緯を下記の項目に関して要約し検討を施したものである。

(1) 模型相似律の検討

(2) 主塔の地震応答

また、国内の吊橋について行なわれた実橋の振動実験結果に関する若干のとりまとめを行ったので、付章として付け加え、本実験に対する参考資料とする。

なお、本報告はつぎに示す人員配置のもとに作成された。

計画および管理 : 小山田 欣 裕

実験および報告 : 小山田 欣 裕

実 験 担 当 : 若 林 進

理論解析計算結果整理 : 高 安 栄 寿

実験結果整理 : 永 井 隆

また、実験を実施した時期は、昭和42年10月から12月までであり、本報告書を取りまとめた期間は、昭和43年1月から2月までである。

昭和43年2月

耐震調査室研究員 小山田 欣 裕

耐震調査室研究補助員 若 林 進

〃 高 安 栄 寿

〃 永 井 隆

目 次

ま え が き	1
第 1 章 模型相似律の検討	15
1. 概 要	15
2. 変位と時間の相似比に対する検討	15
3. 他の相似比について	19
第 2 章 実験〔2〕主塔の地震応答	21
1. 概 要	21
2. 加振および計測装置	23
3. 主塔の地震応答	32
4. 実験結果の検討	54
付 章 吊橋の振動実験に関する文献調査	70
あ と が き	76
参 考 文 献	77

三径間吊橋上部構造の全橋模型による振動実験

I. 模 型

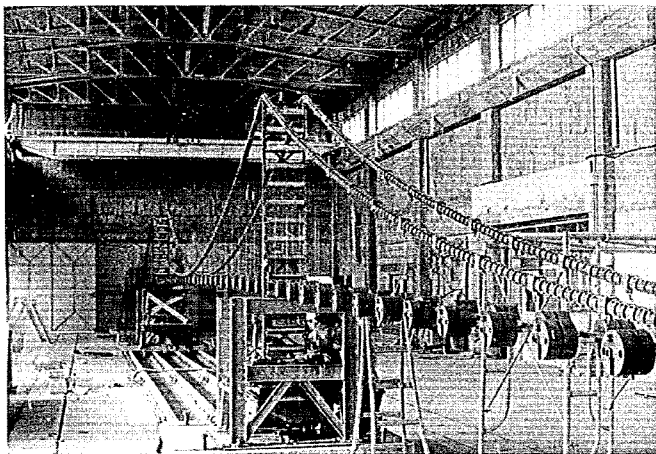


写真1 全橋(測定計器及び模型保護足場設置前)

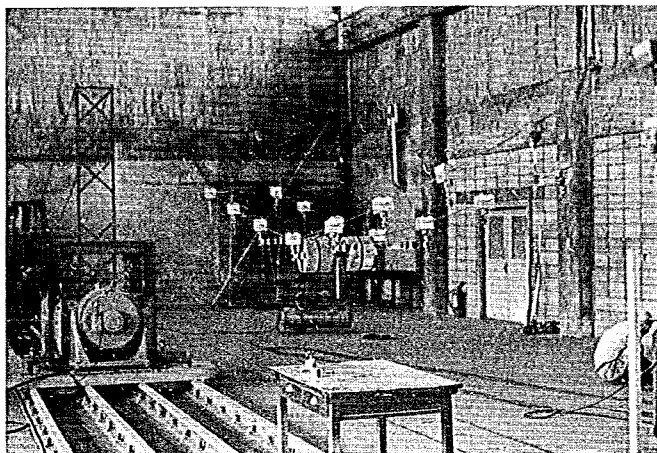


写真2 中央部架設中

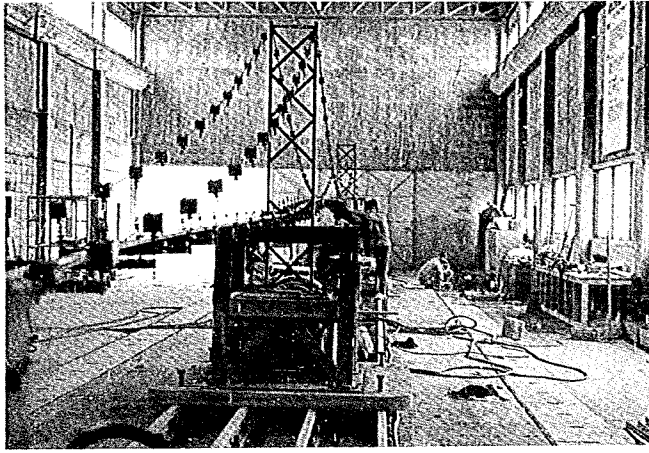


写真3 ケーブル付加重錘取付中

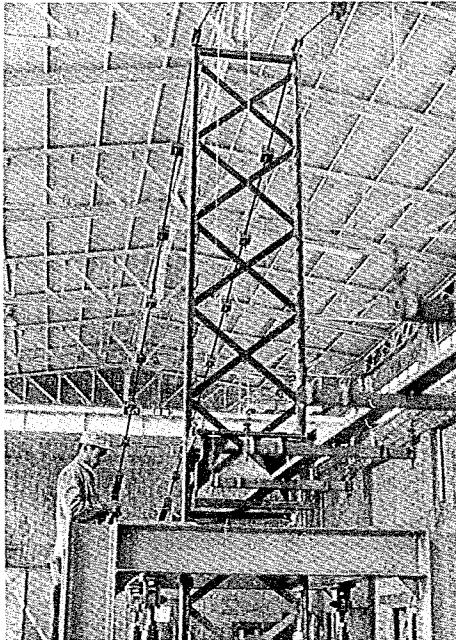


写真4 主塔付加重錘取付前

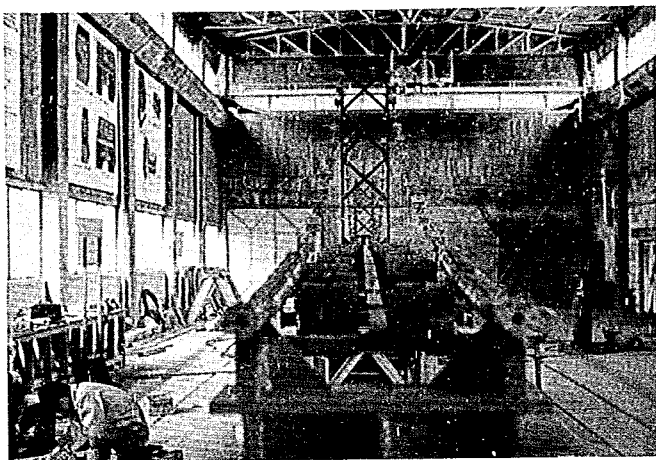


写真5 全橋(正面より)手前はケーブルベンド、補剛桁は重錘の取付け
を終っているが、ケーブルは取付け中

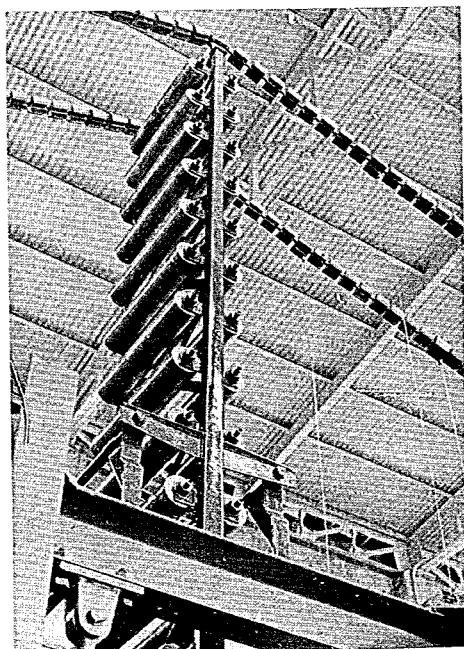


写真6 主塔部完成
(測定計器はまだ取付け
されていない。)

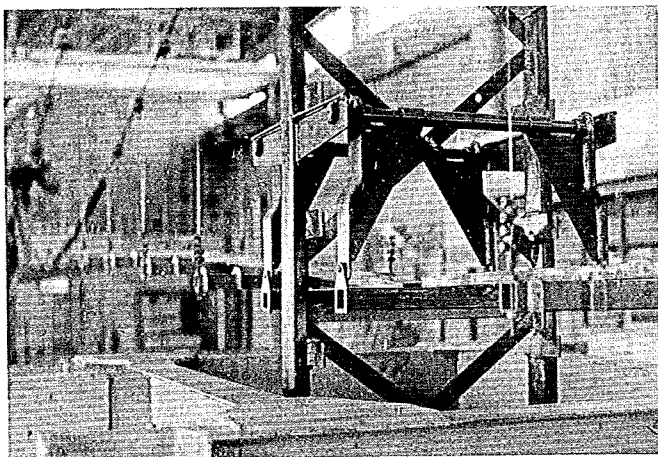


写真7 補剛桁支持ブラケット
(主塔付加重錘はまだ取付けられていない。)

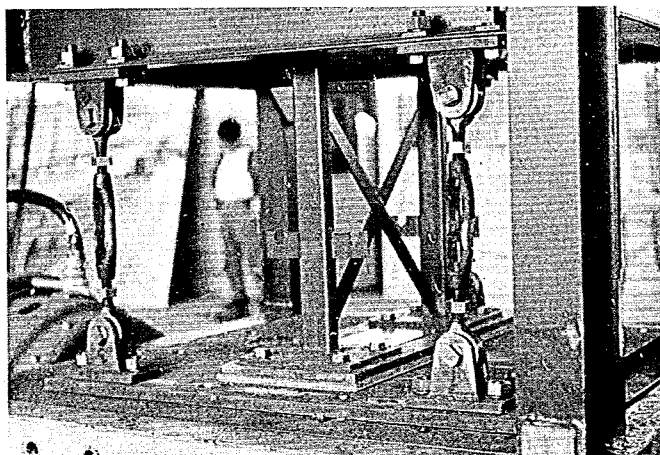


写真8 主塔基部及び振動架台の一部

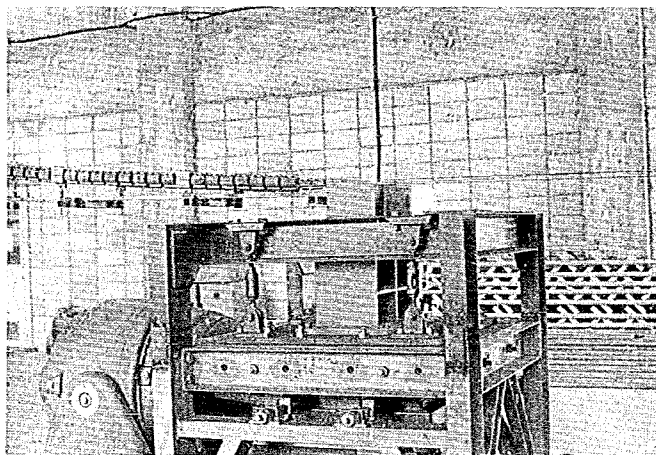


写真10 ケーブルベンド

写真11 ケーブルアンカー

(正面より)架設中

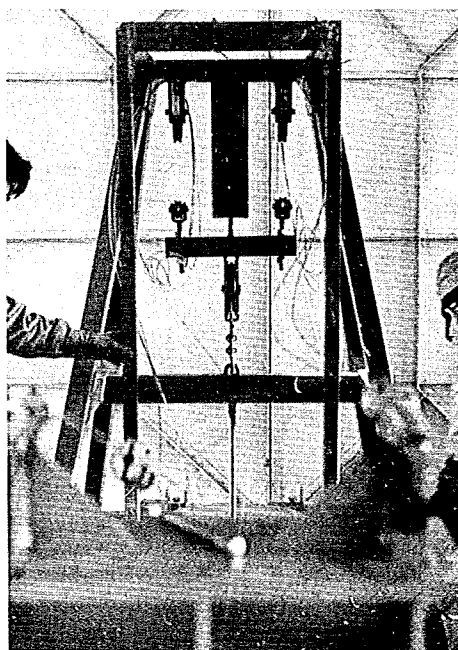


写真12

ケーブルアンカー(側面より)架設中

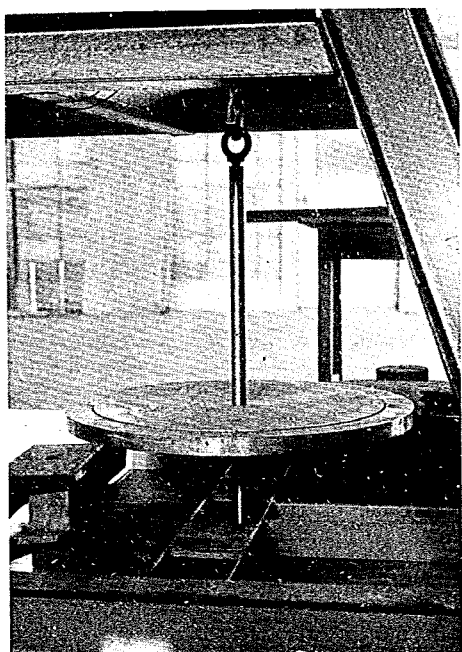
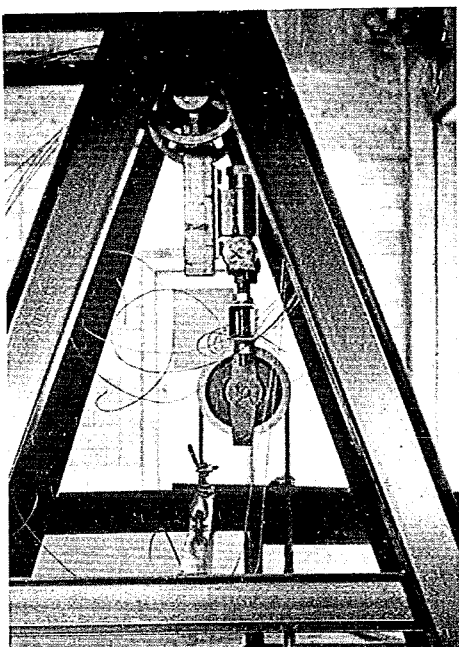


写真13 ケーブルアンカーにおける
重錘取付部(重錘はまだ取付
けられていない。)

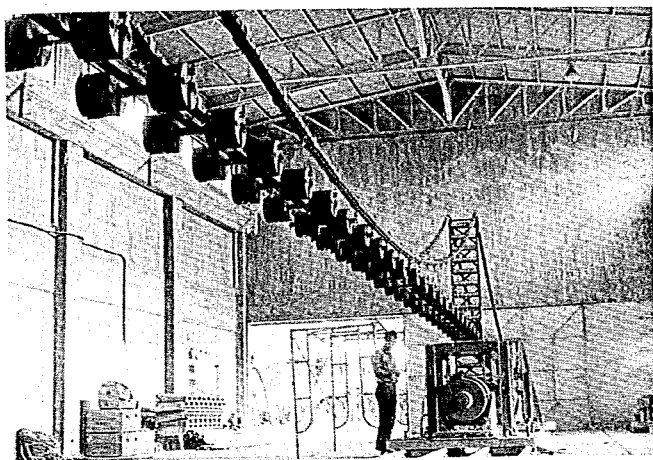


写真14 組立完了(下面より写す)

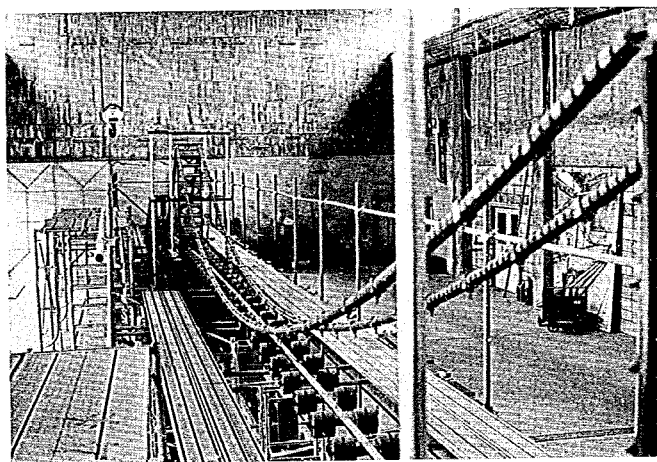


写真15 保安上の足場設置(主塔部には変位計取付装置が架設されている。右の白い棒はその一部。)

II. 加 振 装 置

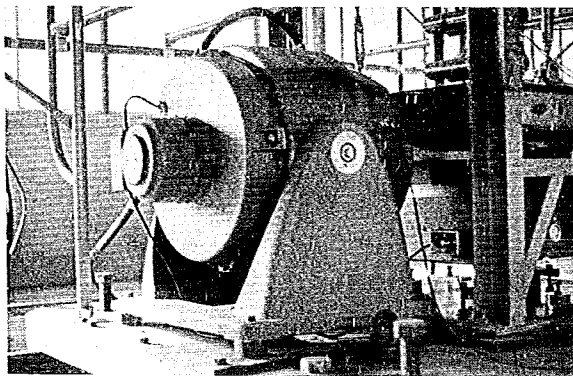


写真16 加 振 機

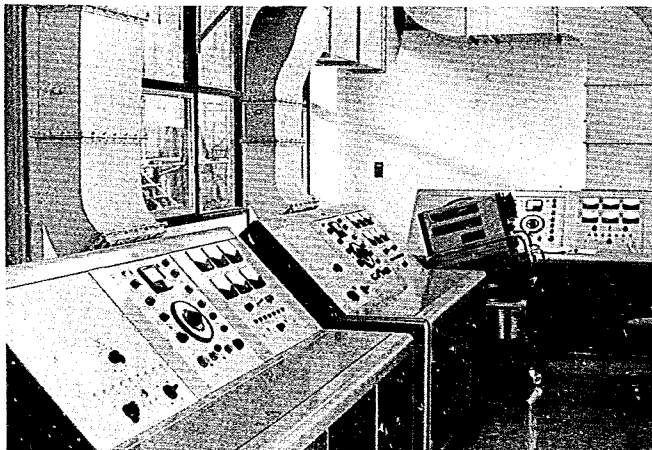


写真17 加振制御機(増幅および電源装置)

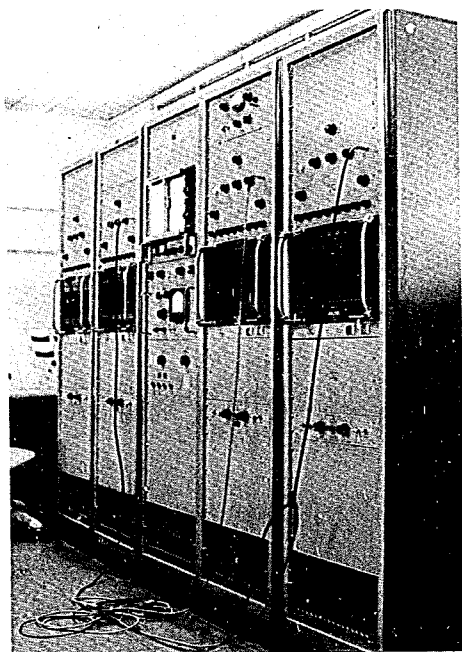


写真18 イコライザー

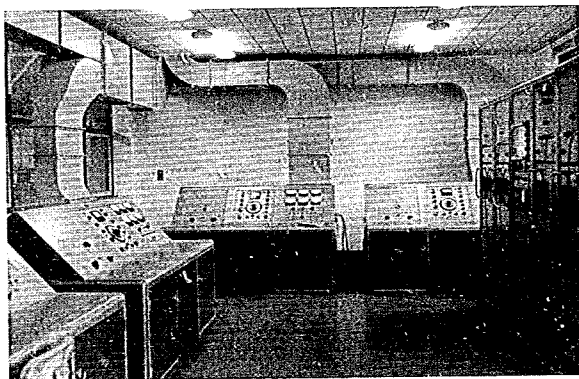


写真19 増幅および電源装置とイコライザー(右)

III 計測装置

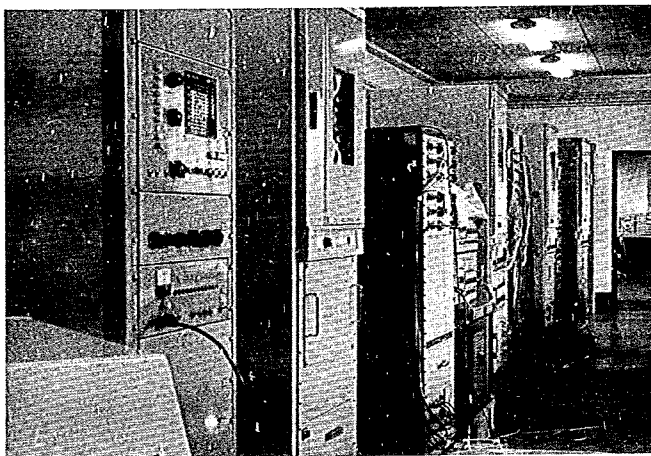


写真20 計測装置が並んでいる解析整理室
(手前左よりAD変換器及びデジタル磁気レコーダー、
加速度増幅装置、アナログ磁気レコーダー。奥の室は振動
測定室)

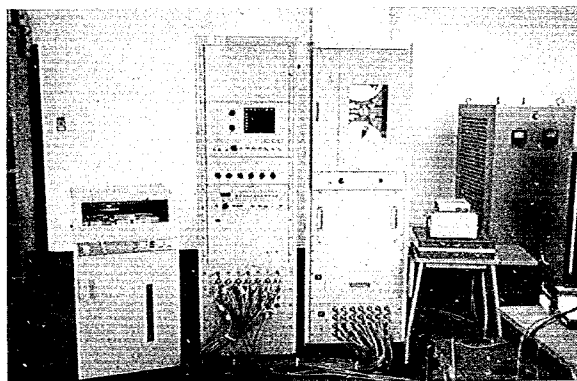


写真21 AD・DA変換器及びデジタル磁気レコーダー

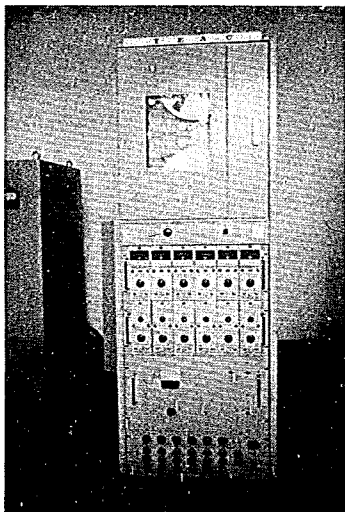


写真22 計測用磁気テープ記録
再生装置

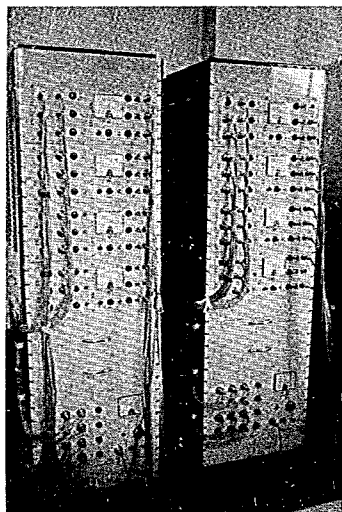


写真23 加速度増幅装置

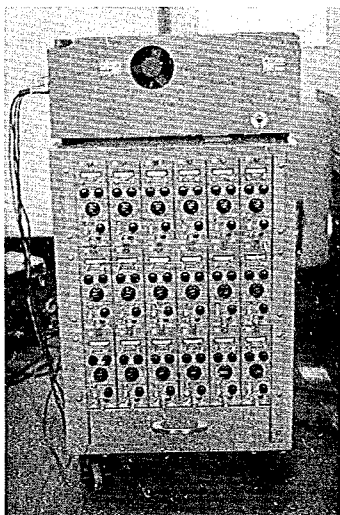


写真24 ストレインアンプ

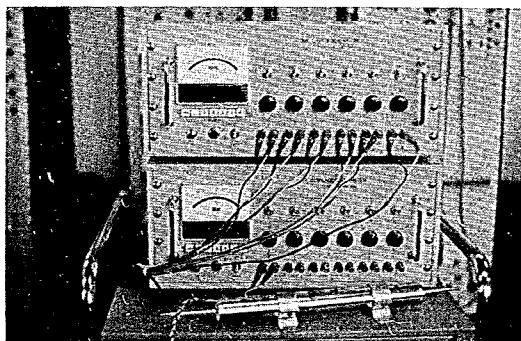


写真25 変位計本体と手前は変位換振器(差動変圧器)

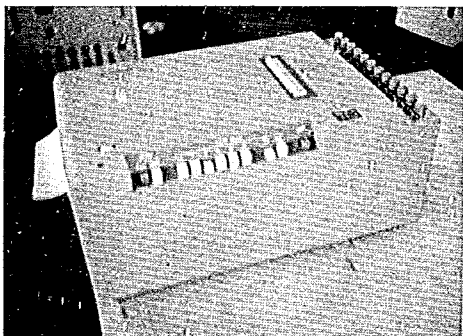


写真26 電磁オシログラフ

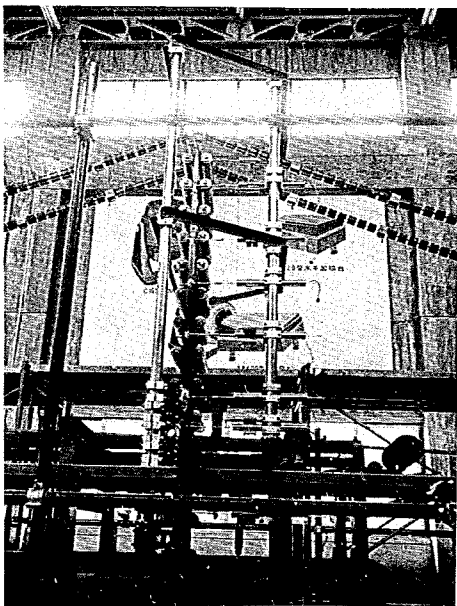


写真27 塔柱の変位計取付位置

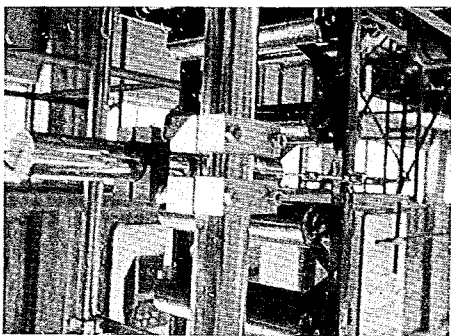


写真28 変位計取付部の拡大

第 1 章 模型相似律の検討

1 概 要

2 変位と時間の相似比に対する検討

3 他の相似比について

第1章 模型相似律の検討

1. 概 要

すでに土木研究所資料第283号に示された本四概略設計L1500Mの吊橋上部構造全橋模型における諸量の相似比に対し、理論計算上ならびに実験上の検討を行ない、今後の地震応答実験の結果を正しく実橋に換算するための裏付けを本章において説明するものである。

相似比の検討は、変位と時間に対して行なえば、他の諸量についても判断できるので、上記の2つの量を対象とするにとどめる。

全長3000 mの吊橋上部構造を対象とし、幾何縮尺比 $1/100$ の模型を作った場合(土木研究所資料第283号参照)、実物と模型の間の相似比のうち、変位、幾何寸法、時間、荷重、重量に関するものをそれぞれ、記号 K_D , K_L , K_T , K_P , K_W で表わすと、

$K_D = K_L = 100$	(a)
$K_T = \sqrt{K_L} = 10$	(b)
$K_P = K_W = 50.000$	(c)

(1)

ただし、 K は模型の物理量に対する実物の物理量の比を示すものである。

相似律は次の三者が一致するならば、理論的にも実験的にも妥当であるといえる。

- a) 実橋の諸元を用いて諸量を計算し、これを模型の量に換算したもの
- b) 模型の諸元を用いて計算したもの
- c) 模型実験による値

2. 変位と時間の相似比に対する検討

(1) 変位の相似比

はじめに主塔の変位に対する相似比の検討を行なうが、これは塔柱一本について行なえば十分である。塔柱を上端自由、下端固定の片持梁とし、前節で述べたa), b), c)の3項目を比較すると図-1.1, 表-1.1のごとくなる。その際計算および実験に用いた諸元は表-1.2のとおりである。図表からわかるように、実橋について計算し相似則により模型に換算したもの、模型について計算ならびに実験したもの合わせて3種類のたわみ値は一致しており、わずかの差は計算ならびに実験上の誤差と見なして差支えなく、塔柱ならびに主塔のたわみに関する相似則は妥当であることが検証された。

また、吊構造部およびケーブルの変位に対する相似比を検討するため、鉛直たわみを実橋、模型について計算し、また模型によって静的たわみ試験を行なって、その三者を比較したものが図-1.2であり、実橋および模型の諸元は表-1.3に示すとおりである。図1.2から、三者はほぼ一致しており、計算上の誤差と見なし得る程度

図-1.1 単位荷重による塔柱のたわみ

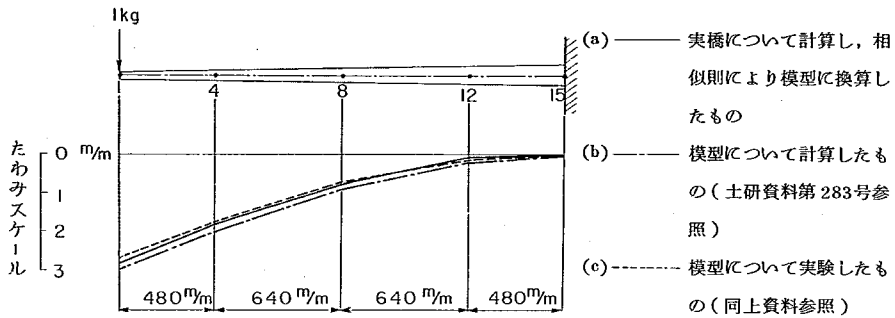
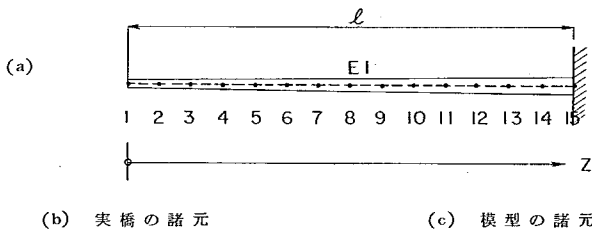


表-1.1 単位荷重による塔柱のたわみ

たわみ算出点	1	4	8	12
a) 実橋について計算し、相似則により模型に換算したもの	2.798 ^{m/m}	1.785 ^{m/m}	0.729 ^{m/m}	0.136 ^{m/m}
b) 模型について計算したもの	2.973	1.977	0.889	0.212
c) 模型について実験したもの	2.680	1.752	0.740	0.150

表-1.2 塔柱の諸元



点	位置	断面2次モーメント
1	0 m	11.2 m ⁴
2	1.6	12.2
3	3.2	14.3
4	4.8	15.8
5	6.4	17.0
6	8.0	19.2
7	9.6	20.7
8	11.2	23.7
9	12.8	29.3
10	14.4	32.6
11	16.0	35.3
12	17.6	37.3
13	19.2	41.0
14	20.8	43.0
15	22.4	47.0

各値とも塔柱1本についての値を示している。

点	位置	断面2次モーメント
1	0 cm	2.62 cm ⁴
2	1.6	2.98
3	3.2	3.37
4	4.8	3.80
5	6.4	4.25
6	8.0	4.73
7	9.6	5.25
8	11.2	5.80
9	12.8	6.38
10	14.4	7.00
11	16.0	7.65
12	17.6	8.34
13	19.2	9.07
14	20.8	9.84
15	22.4	10.65

図-1.2 吊構造部およびケーブルのたわみ

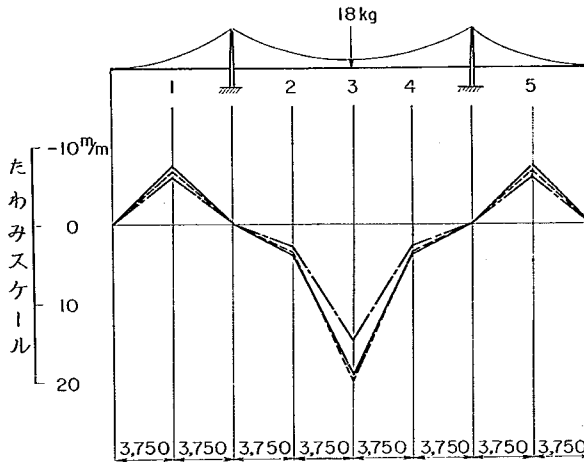
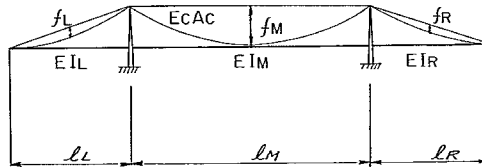


表-1.3 吊構造部およびケーブルの諸元



(a) 実橋の諸元

番号	記号	諸元
1	l_L	750 m
2	l_M	1500 "
3	l_R	750 "
4	f_L	37.5 "
5	f_M	150.0 "
6	f_R	37.5 "
7	I_L	6.198 m ⁴
8	I_M	6.110 "
9	I_R	6.198 "
10	A_C	1.3136 m ²
11	E_C	$21 \times 10^6 \text{ t/m}^2$
12	E	"

(b) 模型の諸元

番号	記号	諸元
1	l_L	750 cm
2	l_M	1500 "
3	l_R	750 "
4	f_L	37.5 "
5	f_M	150.0 "
6	f_R	37.5 "
7	I_L	1.14 cm ⁴
8	I_M	" "
9	I_R	" "
10	A_C	0.251 cm ²
11	E_C	$21 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
12	E	"

の差異しかないことから、吊構造部およびケーブルの変位に対する相似比もまた妥当であることが検証された。

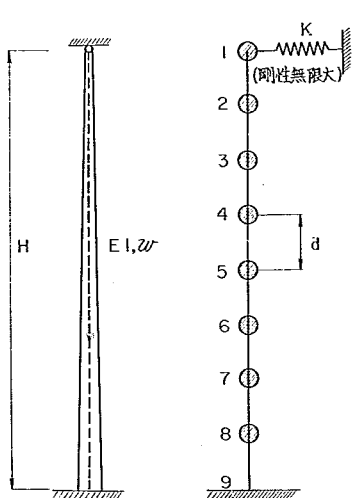
かくして、吊橋上部構造全橋模型は変位に対する相似則を満足している。

〔2〕 時間の相似比

時間の相似比の検討は、主塔1基について橋軸方向振動の固有周期の相似比を調べることで代表させた。振動時の計算上の力学モデルは、上端ピン・下端固定の片持梁とし、その諸元は実橋・模型について表-1.4に示すとおりである。上端ピンの仮定は、電算プログラム上では非常に大きい水平バネ定数を導入することで満足されている。

表-1.4 実橋および模型の諸元

(a) 計算上のモデル (b) 電算上のモデル



(c) 実橋および模型の諸元

項目		実橋の諸元		模型の諸元	
1	塔高	$H=224 \text{ m}$		$H=224 \text{ cm}$	
2	減衰定数	$n/p=0.006$		$n/p=0.006$	
3	弾性係数	$E=21 \times 10^6 \text{ t/m}^2$		$E=21 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$	
4	水平バネ定数	$K=1 \times 10^7 \text{ t/m}$		$K=1 \times 10^7 \text{ t/m}$	
5	部材間隔	$d=28 \text{ m}$		$d=28 \text{ cm}$	
節点	部材	重量	断面2次モーメント	重量	断面2次モーメント
		t	m ⁴	kg	cm ⁴
1	1-2	746.7	11.59	14.93	2.318
2	2-3	664.7	14.15	13.29	2.830
3	3-4	683.9	16.74	13.68	3.348
4	4-5	698.8	20.01	13.98	4.002
5	5-6	762.4	25.23	15.25	5.046
6	6-7	961.4	33.45	19.23	6.690
7	7-8	814.1	37.04	16.28	7.408
8	8-9	1087.0	45.58	21.74	9.116

表-1.4の力学モデルを用い、主塔1基の橋軸方向振動の固有周期を、実橋について計算し相似律により模型に換算したもの、模型について計算したもの、模型実験から求めたものの三者を比較したものが表-1.5である。

表-1.5 固有周期の比較

項目	1次の周期	2次の周期	3次の周期
a) 実橋について計算し、模型に換算したもの	0.149 sec	0.050 sec	0.027 sec
b) 模型について計算したもの	0.149 "	0.050 "	0.026 "
c) 模型実験より求めたもの	0.178 "	0.050 "	0.027 "

表-1.5からわかるように2次, 3次の固有周期については三者が完全に一致しているが, 1次の固有周期についてはa), b)二者とc)は約19.5%の差が生じている。しかし, 実橋について計算し相似律により模型に換算したものと模型の諸元について計算したものととは完全な一致を示しているので理論計算上は相似律が満足されていることがわかる。

計算値と実験値が差を生じた原因として考えられるのは, 計算においては上端に無限に強い水平バネで支えられている片持梁を考えたが, バネの強さを実状に則した値とすれば計算値は実験値の0.178 secに近づくものと思われ, 力学モデルの設定が若干不適確であったことである。たゞ, 塔頂に適当なバネを入れて計算した場合, 現在一致している2次, 3次の固有周期が, 少々ずれてくることも考えられるが, このような操作を行なえば, 1~3次の固有周期について三者は一致するものと思われる。

力学モデルが不適確であると判断した理由は, たとえば1次の振動モードについて, 模型について計算したものと, 模型の塔基部に100galの正弦波形加速度入力を与えて実験したものとで, 前者については振動モード図, 後者については応答変位曲線を比較してみると, 図-1.3のごとくなる。たゞし, 図-1.3においては, 質点番号4の値を1.0にとって描いてある。もとより両者の絶対値の比較は意味をもたないが, 振動形態を比較すると, 実験によるものは塔頂が移動しており上端ピンとは言いがたいことがわかる。

塔頂の移動の原因は, 吊構造部およびケーブルの影響ならびに主塔位置振動板の回転作用の影響と考えられるが, 後者については模型の改善を行ない, 前者については上部全体の実験を行なった結果を検討したのち具体的方策を考える予定である。

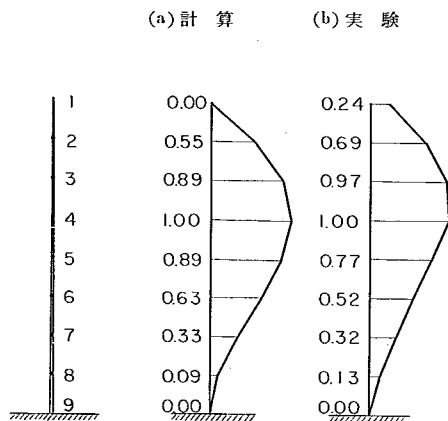
本実験では時間的都合で上記のような処置をとれなかったが, 時間に対する相似律は一定満足されていると見てよからう。

3. 他の相似比について

さて, 前節までに変位と時間の相似比について, 妥当であることが確認され, 少なくとも式(1)については検証されたわけであるが, 変位と固有周期の算定に關与した曲げ剛性(EI), 伸び剛性(EA)等についても相似律は正しいと見なすことができる。これまでに確定した相似律を整理すると,

$$\begin{array}{ll} K_D = K_L = 100 & (a) \\ K_T = \sqrt{K_L} = 10 & (b) \\ K_I = K_H K_L^3 / K_E = 5 \times 10^8 & (c) \end{array}$$

図-1.3 振動形態の比較



$$\begin{array}{l} K_A = K_W K_L / K_E = 5 \times 10^4 \quad (d) \\ K_P = K_W = 5 \times 10^4 \quad (e) \end{array} \quad (2)$$

上式において新たに表われた記号は、

K_I ; 断面 2 次モーメントの相似比

K_A ; 断面積の相似比

K_E ; 縦弾性係数の相似比 ($K_E = 1$ とする)

K_D, K_T を用いて速度・加速度の相似比 K_V, K_a は、

$$\begin{array}{l} K_V = K_D / K_T = 100 / 10 = 10 \quad (a) \\ K_a = K_D / K_T^2 = 100 / 10^2 = 1 \quad (b) \end{array} \quad (3)$$

次に応力, 歪の相似比を求めてみよう。式 (2) および (3) のように相似律が定まっている場合, 次元解析によって, 応力 σ , 幾何寸法 l , 外荷重 P の間に, 実物 (添字 p) と模型 (添字 m) の相互の関係が次式のごとく求まることがわかっている。

$$\left(\frac{\sigma l^2}{P} \right)_p = \left(\frac{\sigma l^2}{P} \right)_m \quad (4)$$

したがって, 応力の相似比 K_σ は、

$$K_\sigma = K_P / K_L^2 = 5 \times 10^4 / 100^2 = 5 \quad (5)$$

となる。また応力 σ は, 歪 ε との間に

$$\sigma = E\varepsilon \quad (6)$$

なる関係があり, 歪 ε の相似比 K_ε は、

$$K_\varepsilon = K_\sigma / K_E = \frac{K_P}{K_E K_L^2} = \frac{5 \times 10^4}{1 \times 100^2} = 5 \quad (7)$$

となる。式 (1) ~ (7) を総括すれば, 模型実験から実橋の応答を換算するために必要な殆んど物理量があがったことになる。本実験では, 地震波入力に対する各点の応答変位・加速度・歪を測定しているので, 上記の関係式があれば十分である。以上で模型相似律の検証をひとまず終える。

第 2 章 実験 (2) 主塔の地震応答

- 1 概 要
- 2 加振および計測装置
- 3 主塔の地震応答
- 4 実験結果の検討

表-2.1 地震記録データ

資料 番号	地震発生 日 付	観測地点	最大 加速度	成分方向	機種・ 型式	縮小時間間 隔 t_0	継続時間	C 係	摘 要
1	'61.8.19	豊橋(吉田大橋)	19.00 ^{gal}	Trans.	電磁式	1/50 sec	11.9 ^{sec}	0.0586	北美濃地震
2	"	"	15.76	Long.	加速度計	"	11.9	"	
3	'63.3.27	大阪(安治川橋)	21.88	Long.	SMAC型	1/100	31.0	0.1172	越前岬沖地震
6	'63.8.4	千葉(土研)	76.75	N-S	SMAC型	"	8.0	"	
8	"	"	74.62	E-W	"	"	8.0	"	
9	'63.3.27	尼ヶ崎(高架橋)	27.95	Long.	SMAC型	"	3.40	"	越前岬沖地震
11	"	"	37.58	Trans.	"	"	3.40	"	
12	'63.3.27	塩谷	26.88	N-S	SMAC型	"	6.0	"	"
14	"	"	24.25	E-W	"	"	6.0	"	
15	'63.3.27	岩谷	22.38	N-S	SMAC型	"	9.0	"	"
17	'63.3.27	明石	79.88	N-S	SMAC型	"	11.0	"	"
19	"	"	39.93	E-W	"	"	11.0	"	
21	'62.4.23	釧路	243.88	N-S	SMAC型	"	3.90	"	
23	"	"	372.75	E-W	"	"	3.90	"	
24	'56.2.14	東京(東大)	70.25	N-S	SMAC型	"	3.40	"	
26	"	"	56.00	E-W	"	"	3.40	"	
27	'56.2.14	東京	66.63	N-S	D C 型	"	10.0	"	
28	"	"	50.13	E-W	"	"	10.0	"	
29	'64.6.16	新潟(県営アパート)	137.13	N-S	SMAC型	"	3.40	"	新潟地震
31	"	"	156.88	E-W	"	"	3.40	"	
20	'40.3.18	El Centro	313.06	N-S	米国製 強震計	1/200	13.4	0.2344	

$$C = \frac{t_p / t_0}{2^{n_D} + n_A} \cdot K_T$$

 t_0 ; 地震動のデジタル記録の時間間隔

 t_p ; 紙テープ読み取り機の各チャンネルの読み取りデータ時間間隔 ($\frac{6}{100}$)

 n_D ; デジタルデータレコーダーの速度比を示す指数 ($n_D = 4$ または 5)

 n_A ; アナログデータレコーダーの速度比を示す指数 ($n_A = 0, 1, 2, 3, 4, 5$)

 K_T ; 時間相似比 (10)

 C ; 最初の地震動記録の時間間隔 t_0 を圧縮するための係数

表-2.2 地震動の概要

番号	位置(地震発生日)	震源距離	震源深さ	マグニチュード	成分方向	最大加速度
1	El Centro, Calif (1940. 5. 18)	50 km	25 km	6.7	N-S	313.06 ^{gal}
2	釧路	—	—	—	N-S	243.88
3	(1962. 4. 23)	—	—	—	E-W	372.75
4	新潟県栗島南方	60	40	7.3	N-S	137.13
5	(1964. 6. 16)	—	—	—	E-W	156.88

表-2.3 相 似 比

説 明		相 似 比	内 容	数 値
K_L	l_p/l_m	K_L	長 さ	100
K_W	w_p/w_m	K_W	単位長さ当り重量	500
K_E	E_p/E_m	K_E	縦弾性係数	1
K_D	δ_p/δ_m	K_L	変 位	100
K_V	v_p/v_m	$\sqrt{K_L}$	速 度	10
K_a	a_p/a_m	1	加 速 度	1
K_T	t_p/t_m	$\sqrt{K_L}$	時 間	10
K_I	I_p/I_m	$\frac{K_W K_L^3}{K_E}$	断面2次モーメント	5×10^8
K_A	A_p/A_m	$\frac{K_W K_L}{K_E}$	断 面 積	5×10^4
K_ε	$\varepsilon_p/\varepsilon_m$	$\frac{K_W}{K_L K_E}$	歪	5
K_σ	σ_p/σ_m	$\frac{K_W}{K_L}$	応 力	5
K_W	w_p/w_m	$K_W K_L$	重 量	5×10^4

次に吊構部およびケーブルの1次の固有周期(T)の測定結果を示すと、中央径間では鉛直方向で、
 $f = 0.720 \text{ c/s}$, $T = 1.388 \text{ sec}$ (実橋で13.88secに相当), 橋軸直角方向で $f = 0.457 \text{ c/s}$, $T = 2.187$
 sec (実橋で21.87sec)であり、側径間では、鉛直方向で $f = 0.719 \text{ c/s}$, $T = 1.390 \text{ sec}$ (実橋で13.90
 sec に相当), 橋軸直角方向で $f = 0.918 \text{ c/s}$, $T = 1.017 \text{ sec}$ (実橋では10.17secに相当)であった。

2. 加振および計測装置

すでに土木研究所資料第283号にも示したように、本実験の作業は、図-2.2
 に示す段階を経て行なわれる。これらの工程のうち模型・入出力については上記
 資料で詳述しているので省略し、加振・計測装置についてその機能・性能の概要
 を述べることにする。図-2.3には上記工程をさらに詳しく説明してある。

加振系統は、データー・レコーダー、イコライザー、加振制御機、加振機、振
 動台で構成されており、計測系統は、加速度計、変位計、歪計、データー・レコ
 ーダー、フォート・コーダー、A/D変換器等から成り立っている。これら
 の構成を一括して示すと表-2.4のとおりである。

[1] 加 振 装 置

本装置は電磁型振動試験装置であり、加振機およびこれを駆動させるための電
 源装置、正弦波ならびに任意波による振動試験を行なうための周波数特性補正装
 置(イコライザー)、水平方向加振用の補助振動台から成り立っている。これら

図-2.2 実験工程

地 震 記 録

電算プログラム
CODE-1N

入 力

加 振 装 置

模 型

計 測 装 置

電算プログラム
CODE-OUT

出 力

実 験 結 果

図-2.3 吊橋上部構造全橋模型-振動実験の流れ工程表

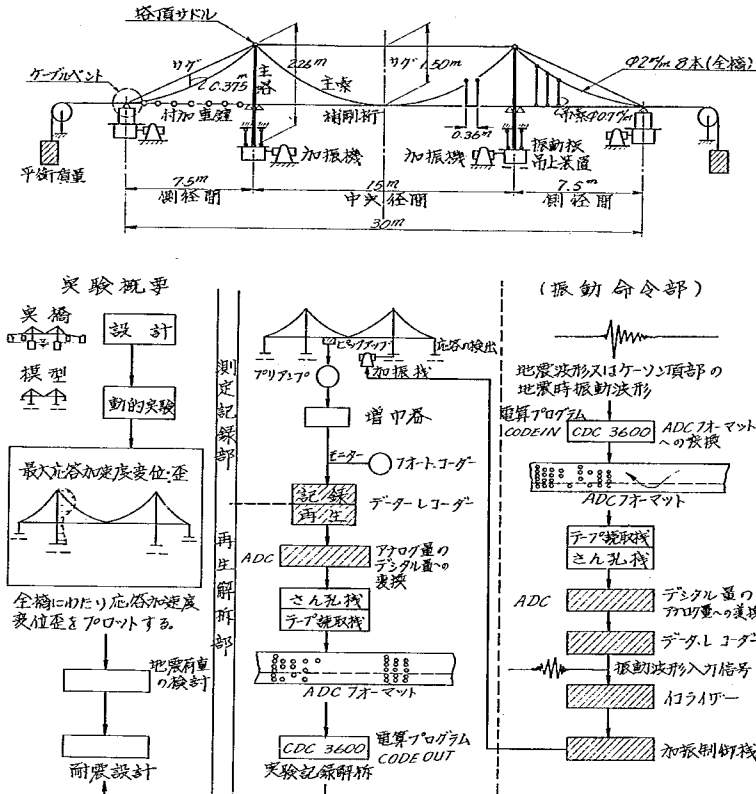


表-2.4 加振および計測装置一覧

装 置	構 成
加 振 装 置	加振機、増巾および電源装置 イコライザ―装置
A/D変換器およびディジタル磁気レ コーダー	制御架、ディジタル磁気レコーダー、高速度さん孔機、テープ読み取り機
計測用磁気テープ記録再生装置 (データ・レコーダー)	計測用磁気テープ記録装置 F/M再生増巾器ユニット
加 速 度 測 定 装 置	加速度変換器、前置増巾器と3チャンネル増巾器、6チャンネル同時校正 器を含む本体
ひ ず み 測 定 器	ストレーンゲージ、ブリッジボックス、ストレーンアンプ
変 位 測 定 器	変位検出用差動変圧器と特殊共振回路、増巾回路及び変換回路を含む本体
電 磁 オ シ ロ グ ラ フ	

加振装置のブロック・ダイアグラムを図-2.4に示す。

その機能および性能は以下のとおりである。

(1) 加 振 機

実験の対象物を以下の性能の範囲で加振するムーヅ・コイル方式の加振機であり、吊橋模型の主塔およびアンカー位置に計4台据え付けられている。

最 大 出 力：正弦波で545kg

任意波で386kg(RMS),

1159kg (Peak)

加振々動数領域：正弦波で5~3000 c/s

任意波で20~2000 c/s

加振最大振幅：全振幅で25.4%

加振最大速度：全振幅で177.8 mm/sec

加振最大加速度：全振幅で63.5 g

(2) 増幅および電源装置

出 力：25~6000 c/s で抵抗負荷において6000 V A

歪 率：10~600 c/s で3%以下

周波数レスポンス：5~10,000 c/s で±1 db

(3) イ コ ラ イ ザ ー

電気力学的加振機の伝達函数は、振動数の全域にわたり一定ではなく荷重条件に支配される。供試体に伝達される振動エネルギーを正確に制御し、希望する電気的入力信号を機械的振動に忠実に再生するために等化装置(イコライザー)が使用される。

補正周波数帯域：15~2000 c/s

補正チャンネル数：80チャンネル、帯域幅25 c/s

入 力 回 路：3チャンネル、ミキサ付

入 力 レベル：各チャンネル毎に単独制御

(4) 水平補助振動台

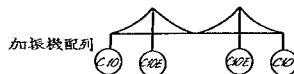
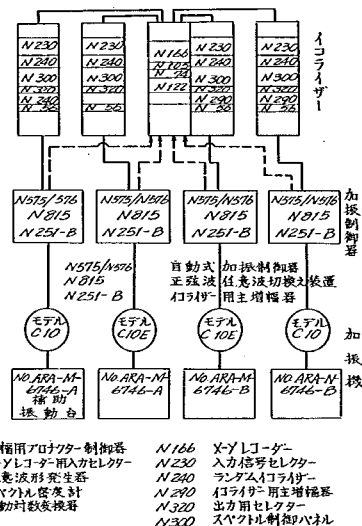
加振機に直結しその機械的振動を受け取り、実験対象を振動せしめるもので、主として油圧式水平テーブルよりなる。

寸 法：20×20' (508×508 mm)

重 量：32 lbs. (14.5 kg)

1 次 共 振 点：2250 c/s

図-2.4 振動台のブロックダイアグラム



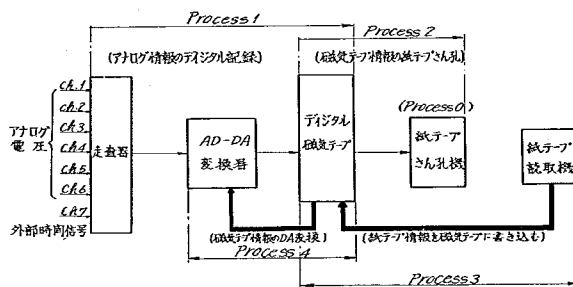
〔 2 〕 計 測 装 置

計測系統は、加速度測定装置、変位測定装置、歪測定装置等の換振・増幅系統とデーター・レコーダー、AD・DA変換器、フォート・コーダー等の記録系統とにわかれる。

(1) AD・DA変換器およびディジタル磁気レコーダー

AD・DA変換器は振動記録の処理装置であり、振動測定器の出力またはこれを記録した磁気テープよりの電圧出力をディジタル量に変換し、いったんディジタル磁気テープまたは紙テープに記録して電子計算機の入力データーとする。一方これらの可逆的な変換の機能をも有する。AD・DA変換器およびディジタル磁気レコーダーのブロック図を図-2.5に示す。

図-2.5 AD・DA変換器及びディジタル磁気レコーダーブロック図



< 1 a > AD・DA変換器

(AD変換)

入 力 電 圧 : $\pm 10 \text{ V}$
 表 示 符 号 : 2進10桁および±符号
 入力インピーダンス: $100 \text{ k}\Omega$ 以上
 変 換 時 間 : 1 サンプル $100 \mu\text{s}$ 以下
 出 力 信 号 : パルスまたは電圧レベル

(DA変換)

出 力 電 圧 : $\pm 10 \text{ V}$
 変 換 精 度 : $\pm 5\% \text{ V}$ 以下
 出力インピーダンス: $100 \text{ k}\Omega$, $50 \text{ k}\Omega$, $5 \text{ k}\Omega$, 10Ω
 変 換 時 間 : 1 サンプル $50 \mu\text{s}$ 以下
 入 力 信 号 : 2進法10桁および±符号

<1b> デジタル磁気レコーダー

(定 格)

テープ幅 : 1" (記録再生用は $\frac{1}{2}$ " または $\frac{1}{4}$ ")
ヘッド : 記録・再生各1組
トラック数 : 7または3トラック
テープ速度 : 60, 30, 15, $7\frac{1}{2}$, $3\frac{3}{4}$, $1\frac{7}{8}$ ips
形状 : $482 \times 666\%$ (機構部), $482 \times 1000\%$ (操作部)
電源 : 100V, 50 c/s, 300VA

(性 能)

テープ速度許容値 : 10型リールで $\pm 0.20\%$
テープ速度整定時間 : 60, 30, 15 ips で2.0 sec 以内
 $7\frac{1}{2}$, $3\frac{3}{4}$, $1\frac{7}{8}$ ips で1.5 sec 以内
テープ停止時間 : 6速度とも0.1 sec 以内
早送り, 巻戻し時間 : 2500' (10型リール) で約90 sec

<1c> 読 取 機

さん孔テープにパンチされているデジタル量をデジタル磁気レコーダーに伝えるものである。

単 位 数 : 8
使用テープ幅 : 25.4%
読 取 速 度 : 200 ch/sec
モーター/ランプ電源 : AC 1 ϕ 100V, 50 c/s
寸 法 : $257 \times 200 \times 220\%$

<1d> 高速度さん孔機

入 力 電 圧 : AC $100 \pm 10V$, 50 c/s
消 費 電 力 : 500W 以下
重 量 : 約150 kg
寸 法 : $545 \times 560 \times 990\%$

(2) 計測用磁気テープ記録再生装置

本装置は加速度計・変位計・動的歪計等のDC $\sim$ 2000 c/s の振動出力波形の記録を行ない, またそれを再生してAD変換器の入力とする。またAD変換器と組合わせて, DA変換された地震波出力電圧を記録し, 再生速度を変えて時間の短縮を行なう。その再生出力は振動試験装置の加振入力となる。

<2a> 計測用磁気テープ記録再生装置 (図-2.6, 2.7)

(磁気テープ駆動機構部)

磁 気 ヘ ッ ド : $\frac{1}{2}$ " 幅7トラック
テ ー プ 速 度 : 60, 30, 15, $7\frac{1}{2}$, $3\frac{3}{4}$, $1\frac{7}{8}$ ips
ワウフラッター : 60 ips で0.1%以下

1 1/8 ips で 0.4 % 以下

テープカウンタ : 有

(FM記録増幅器)

記録方式 : 周波数変調

入力電圧 : $\pm 1V \sim \pm 20V$

入力インピーダンス : 10 k Ω 以上 (アンプ入力端子では 100 k Ω)

周波数特性 : 60 ips で DC $\sim$ 10 kc/s, ± 1 db

DC $\sim$ 2 kc/s, ± 0.5 db

1 1/8 ips で DC $\sim$ 0.3 kc/s, ± 0.5 db

図-2.6 7チャンネルFM記録再生ブロックダイアグラム

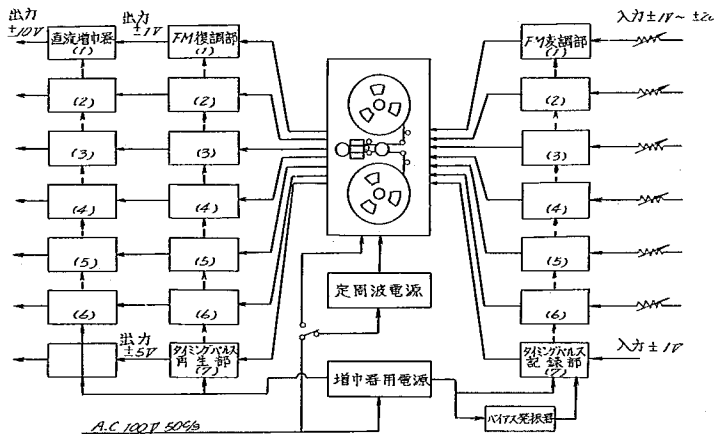
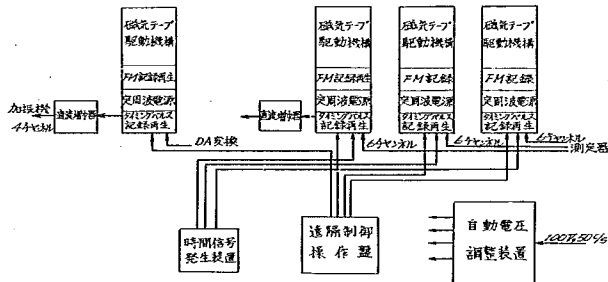


図-2.7 ブロックダイアグラム



(タイミングパルス記録再生増幅器)

記録再生方式 : 直接記録

入力電圧 : $\pm 1 \text{ V}$

入力インピーダンス : $10 \text{ k}\Omega$ 以上

出力負荷インピーダンス : $1 \text{ k}\Omega$ 以上

記録再生周波数 : 60 ips で 32 kc/s 以下

30 # で 16 #

15 # で 8 #

$7\frac{1}{2} \text{ #}$ で 4 #

$3\frac{3}{4} \text{ #}$ で 2 #

$1\frac{1}{8} \text{ #}$ で 1 #

< 2b > FM再生増幅器

出力電圧 : $\pm 1 \text{ V}$

出力負荷インピーダンス : $5 \text{ k}\Omega$ 以上

周波数特性 : 30 ips で $\text{DC} \sim 5 \text{ kc/s}$, $\pm 1 \text{ db}$

15 ips で $\text{DC} \sim 2.5 \text{ kc/s}$, $\pm 1 \text{ db}$

$7\frac{1}{2} \text{ ips}$ で $\text{DC} \sim 1.2 \text{ kc/s}$, $\pm 1 \text{ db}$

$3\frac{3}{4} \text{ ips}$ で $\text{DC} \sim 0.6 \text{ kc/s}$, $\pm 1 \text{ db}$

(3) 加速度測定装置

本装置は、構造物の各測点における振動の加速度を磁気レコーダーまたは電磁オシログラフに接続して記録するための検出ならびに増幅装置であり、加速度変換器（ピック・アップ）、前置増幅器、3チャンネル主増幅器、6チャンネル同時較正器からなりたっている。ブロック図を図-2.8に示す。

図-2.8 加速度測定装置ブロックダイアグラムと加速度ピックアップ図

< 3a > ピックアップ

型式 : チタン酸系磁気圧電効果型

測定加速度 : $0 \sim 500g$

感度 : $50 \sim 100 \text{ mV/g}$

周波数範囲 : $2 \sim 1000 \text{ c/s}$

内部容量 : 800 pF

< 3b > 加速度測定装置の総合機能

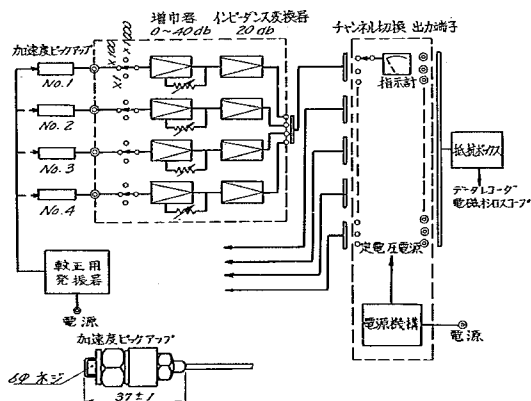
(S / N 比)

加速度 1 gal の時、増幅率 60 db で 10 db

" 1 gal " , " $20 \sim 40 \text{ db}$ で 40 db

" 1 gal " , " $40 \sim 60 \text{ db}$ で 40 db

" 50 gal " , " $40 \sim 60 \text{ db}$ で 50 db



(総合誤差)

- $2 \sim 10 \text{ c/s}$ -加速度 1 gal の時, $\pm 5 \%$ " 1 kgal " , $\pm 3.5 \%$ " 50 kgal " , $\pm 3 \%$ - 10 c/s 以上 -加速度 1 gal の時, $\pm 4.5 \%$ " 1 kgal " , $\pm 3 \%$ " 50 kgal " , $\pm 2.5 \%$

(4) 動的歪測定装置

本装置は、ストレイン・ゲージ、ブリッジ・ボックス、ストレイン・アンプよりなる動的歪の測定装置であるが、その主体であるストレイン・アンプの仕様をここにのべる。ストレイン・アンプは電源部、発振回路、校正回路、交流増幅器、検出回路から構成されており、きわめて微少な動的歪の測定が容易にできる。

感 度 : 歪 10×10^{-6} で出力 2.5 mA 以上最大出力 : $\pm 1.2 \text{ V}$, $\pm 40 \text{ mA}$ (30Ω 負荷)直 線 性 : 最大出力範囲内で $\pm 2 \%$ 以下 (30Ω 負荷)周波数特性 : $0 \sim 1000 \text{ c/s}$ ($\pm 5 \%$ 以下)入力インピーダンス : 350Ω 出力インピーダンス : 5Ω 以下使用ゲージ : $60 \sim 1000 \Omega$ 利得調整 : $0, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100$ ステップおよび $0 \sim 10$ 連続調整

(5) 変位測定装置

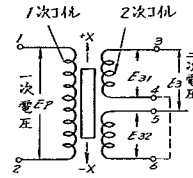
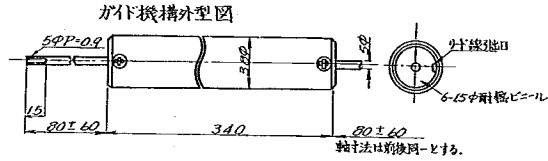
本装置は差動変圧器により検出された機械的変位量を電気変換して、同時に出力を出すものであり、とくに本器では電源電圧の変動、温度の変化、真空管の特性変化等に伴う諸誤差を、自動的に補償安定化している。本装置は変位検出用差動変圧器、特殊発振回路、増幅回路ならびに変換回路を含む本体からなりたっている。変位検出用差動変圧器の機構図を図-2.9に示す。

測定範囲 : $0 \pm 50, \pm 25, \pm 10 \%$ の3段階測定周波数範囲 : $0 \sim 50 \text{ c/s}$ 出 力 : 各段階の最大変位に対し $330 \mu\text{A} / 22 \Omega$

(前面端子)

各段階の最大変位に対し 1 V / 高抵抗(背面 $16 \phi 3 \text{ p}$ メタコン)直 線 性 : 各段階最大変位に対し $\pm 1 \%$ 以内励磁周波数 : 3 kc/s

図-2.9 変位検出用差動変圧器

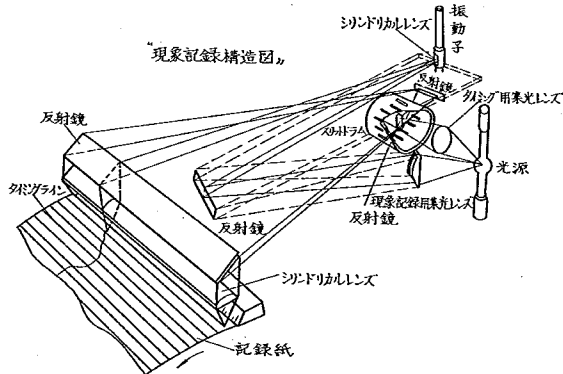


(6) 電磁オシログラフ

本器は各種の変換器よりの電氣的信号を光学機構を利用して図型化する装置であり、その原理は図-2.10のとおりである。これはデーター・レコーダーに対するモニター用として現在利用している。

素子数 : 12チャンネル
 光学レバー : 450%
 入力電圧増幅率 : 10段切換
 記録紙巾 : 178%
 電源 : 100±10V, 50c/s, 450W

図-2.10 直記式電磁オシログラフ



3. 主塔の地震応答

本実験は主塔一基に着目しその橋軸方向の地震応答を求めたものであり、表-3.1に示す3地震5成分の加速度記録を主塔基部に導入し、8等分点における加速度・変位・歪およびスリップ・テーブルにおける加速度・変位を求め、実橋における各点の応力・曲げモーメントを誘導したものである。

表-3.1 実験の内容

実 験 期 間	昭和42年10月～12月				
実 験 対 象	主 塔 一 基				
入 力 地 震 波	Na	震 源 地	実 験 No.	最大加速度 Z_{max}	入力最大加速度
	1	エレセントロ	EL CENIRO (N-S)	316.06 gal	275 gal
	2	新 潟	NIIGATA (N-S)	137.13	127
	3		" (E-W)	156.88	188
	4	釧 路	KUSHIRO (N-S)	243.88	269
	5		" (E-W)	372.75	324
測 定 計 器	加速度計・歪計・変位計・直記式電磁オシログラフで記録				

模型において測定された歪から実橋の応力ならびに曲げモーメントを求めるには次式を用いる。

$$\sigma = \frac{M}{I} y = E \epsilon \quad (8)$$

ただし、

σ ; 曲げ応力度 (kg/cm²)

ϵ ; 歪

E ; 部材の縦弾性係数 (kg/cm²)

M ; 曲げモーメント (kg・cm)

I ; 断面2次モーメント (cm⁴)

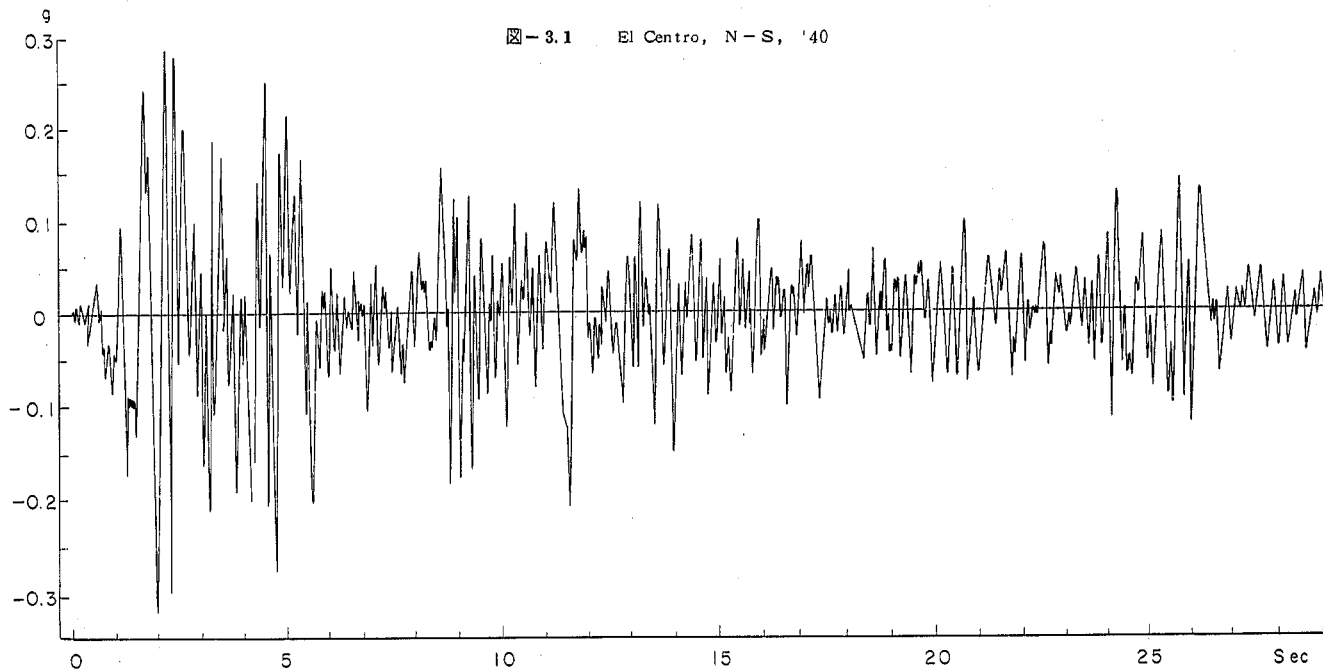
y ; 断面中立軸からの縁端距離 (cm)

こゝで実橋に関するものに p 、模型に関するものに m なる添字を付し、(8)から σ の相似比 $K_\sigma = \sigma_p / \sigma_m$ を求めると、

$$K_\sigma = \frac{\sigma_p}{\sigma_m} = \frac{(E \epsilon)_p}{(E \epsilon)_m} = K_E \cdot K_\epsilon \quad (9)$$

となり、表-2.3より $K_E = 1$ 、 $K_\epsilon = 5$ であることから

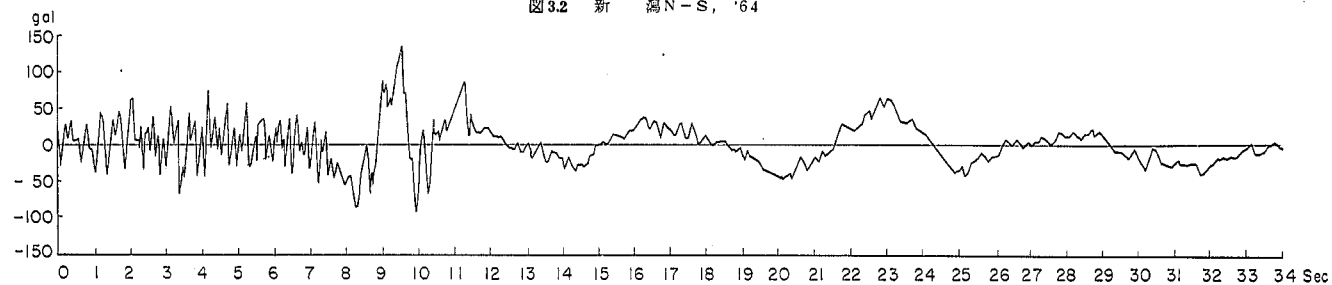
$$\begin{aligned} \sigma_p &= K_E \cdot K_\epsilon \cdot \sigma_m \\ &= K_E \cdot K_\epsilon \cdot E_m \cdot \epsilon_m \\ &= 1 \times 5 \times 2.1 \times 10^6 \times \epsilon_m \\ &= 10.5 \epsilon_m \end{aligned} \quad (10)$$



カリフォルニアにおける地震加速度	
ELE, NO	1
設置対象	地盤
型式	不明
成分方向	N-S
最大加速度	313.06 gal
地震年月日	1940.5.18

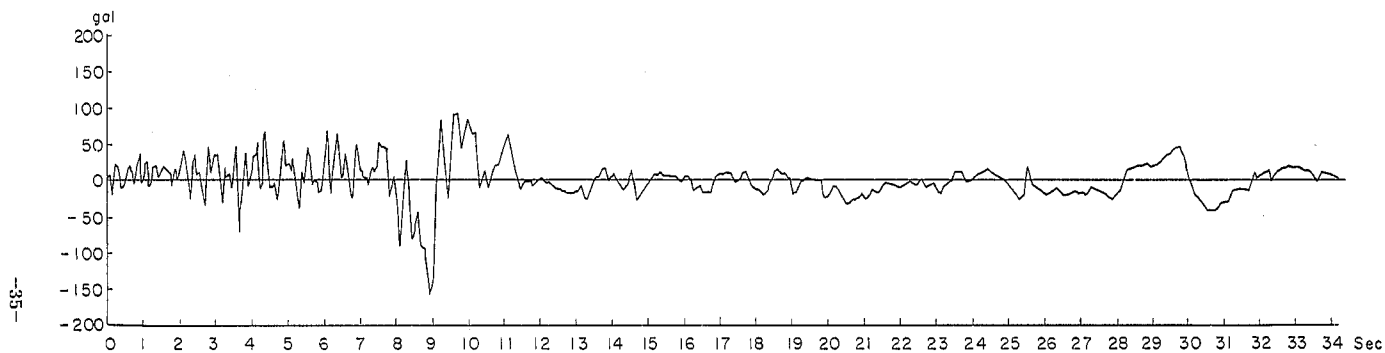
図-3.2 新 潟 N-S, '64

図3.2 新 潟N-S, '64



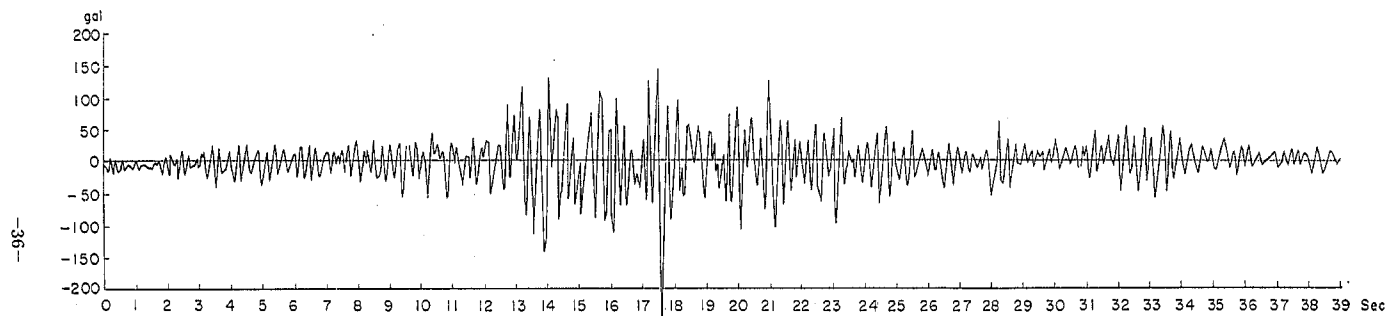
新潟地点における地震加速度	
ELE. NO	1
設置対象	無管7ハート(地階)
型 式	SMAC
成分方向	N-S
最大加速度	137.13 gal
地震年月日	1964. 6. 16

図-3.3 新 潟 E-W, '64



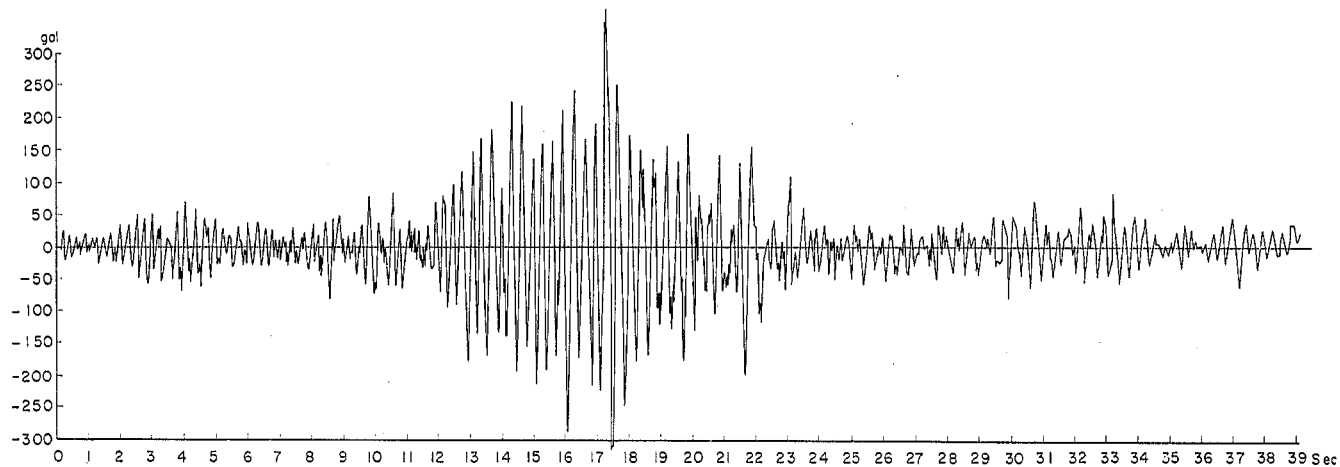
新潟(県庁アハ-ト)における地震加速度	
ELE. NO	3
設置対象	県庁アハ-ト(地階)
型 式	SMAC
成分方向	E-W
最大加速度	156.88 gal
地震年月日	1964.6.16

図-3.4 釧 路 N-S, '62



釧路地点における地震加速度	
ELE. NO	1
設置対象	地盤
型式	SMAC
成分方向	N-S
最大加速度	243.88 gal
地震年月日	1962.4.23

図-3.5 釧 路 E-W, '62



釧路地点における地震加速度	
ELE. NO	3
設置対象	地盤
型 式	SMAC
成分方向	E-W
最大加速度	372.75 gal
地震年月日	1962. 4. 23

が導かれ、実験により求められた各点の歪（ ϵ_m ）から実橋における各点の応力 σ_p が求められる。

一方、 σ_p が(10)より求められると、(8)から

$$\sigma_p = \frac{M_p}{I_p} \cdot y_p \quad (11)$$

であるから、実橋における各点の曲げモーメント M_p は既知の値 I_p 、 y_p を用いて次式から導かれる。

$$\begin{aligned} M_p &= \sigma_p \cdot \left(\frac{I_p}{y_p} \right) \\ &= 10.5 \epsilon_m \left(\frac{I_p}{y_p} \right) \end{aligned} \quad (12)$$

さて、本実験においては表-3.1の地震記録を用いたが、その原地震記録の波形は図-3.1~5のごとくで、各時間ごとのデジタル量は表-3.2~6に示すものである。上記の地震記録にもとづく電圧信号により、図-3.6の加振機を動かし主塔の8等分点で応答加速度、歪等を測定した結果は図-3.7~15である。

ただし、図中の最大加速度 Z_{max} とは原記録のものであり、実際には拡大または縮小されているわけである。

また、これらの実験結果から、各点における実橋の最大応答（加速度・歪・変位）と、最大応答が起る時刻、その時刻を中心とする半周期の波形から求めた周期を示したのが表-3.7~11である。ただし上表中の W は実橋の断面係数であり、(12)の I_p/y_p に相当する。なお応答諸量は塔柱1本当りのものである。

図-3.6 計器位置図

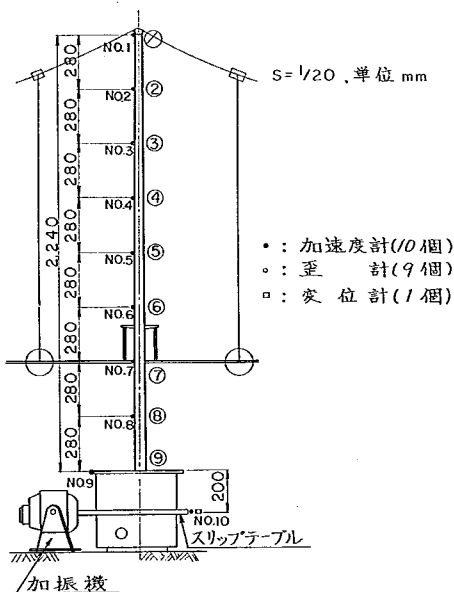


表 - 3.2 デイジタル量 (1)

ELCENTRO N-S
資料系 20 ELE/1

時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)
0.000	10.78	2.214	289.10	4.969	174.44	6.575	-1.96	8.070	46.06	10.188	49.98	12.209	-43.12				
0.041	0.98	2.270	257.74	5.038	29.40	6.603	-16.66	8.125	-3.92	10.271	-121.52	12.253	-31.36				
0.096	15.68	2.320	-292.04	5.108	213.64	6.644	36.26	8.195	-12.74	10.382	57.82	12.361	-8.82				
0.160	-0.00	2.394	4.90	5.199	26.46	6.686	45.08	8.222	64.68	10.423	12.74	12.375	-51.94				
0.221	18.62	2.450	280.28	5.232	122.50	6.713	38.22	8.278	29.40	10.451	38.22	12.431	-19.60				
0.263	0.00	2.519	-46.06	5.301	126.42	6.727	0.98	8.333	24.50	10.465	113.68	12.472	-40.18				
0.290	5.88	2.574	148.96	5.329	106.82	6.769	-13.72	8.402	34.30	10.506	-36.26	12.555	17.64				
0.332	-0.98	2.652	203.84	5.343	-23.52	6.810	10.78	8.458	-36.26	10.534	-55.86	12.624	-13.72				
0.373	19.60	2.707	106.82	5.454	168.56	6.852	1.96	8.532	-33.32	10.645	30.38	12.702	40.18				
0.429	-23.52	2.768	-31.36	5.509	-99.96	6.907	8.82	8.596	-9.80	10.700	21.56	12.763	-47.04				
0.470	7.84	2.893	100.94	5.606	13.72	6.990	-98.00	8.638	-25.48	10.714	50.96	12.840	-12.74				
0.581	42.14	2.976	-78.40	5.689	-191.10	7.073	35.28	8.734	149.94	10.769	88.20	12.957	-67.62				
0.622	8.82	3.067	50.96	5.772	-23.52	7.120	7.84	8.818	-2.94	10.839	-18.620	13.012	-98.98				
0.664	13.72	3.128	-151.90	5.800	-4.90	7.143	-27.44	8.859	22.54	10.922	-9.80	13.040	-19.60				
0.719	-16.66	3.211	6.86	5.808	-26.46	7.148	2.94	8.881	-25.48	10.963	-77.42	13.137	49.00				
0.789	-47.04	3.253	-201.88	5.869	-55.86	7.170	26.46	8.914	-1.96	10.991	-11.76	13.220	-57.82				
0.872	-28.42	3.386	189.14	5.883	-32.34	7.226	56.84	8.956	-181.30	11.074	59.78	13.233	3.92				
0.941	-49.00	3.419	-92.12	5.924	21.56	7.295	-48.02	9.053	123.48	11.088	-26.46	13.275	54.88				
0.996	-77.42	3.530	167.58	5.980	10.78	7.370	29.40	9.094	31.36	11.115	-41.16	13.317	-0.98				
1.065	-50.96	3.599	-35.28	6.013	23.52	7.406	10.78	9.122	94.08	11.207	41.16	13.330	-58.80				
1.093	-42.14	3.668	35.28	6.085	-65.66	7.425	18.62	9.150	122.50	11.226	74.48	13.358	43.12				
1.168	88.20	3.737	-72.52	6.132	0.98	7.461	-24.50	9.252	-32.34	11.268	42.14						
1.315	-166.60	3.834	30.38	6.174	48.02	7.525	-34.30	9.288	-44.10	11.323	20.58						
1.384	-81.34	3.903	-179.34	6.187	-2.94	7.572	3.92	9.427	127.40	11.434	115.64						
1.412	-81.34	4.014	22.54	6.229	-37.24	7.599	-61.74	9.440	-162.68	11.572	-98.0						
1.439	-93.10	4.056	-42.14	6.279	20.58	7.641	-27.44	9.510	41.16	11.655	-122.50						
1.481	-87.22	4.105	21.56	6.326	-5.88	7.669	-19.60	9.634	-92.12	11.725	-172.48						
1.508	-105.84	4.222	-193.06	6.367	-58.80	7.691	6.86	9.703	80.36	11.780	-113.68						
1.536	-125.44	4.313	-172.48	6.381	-15.16	7.752	-4.90	9.814	-86.24	11.808	-0.00						
1.627	111.72	4.415	143.08	6.409	19.60	7.793	-58.80	9.897	5.88	11.877	74.48						
1.702	231.28	4.471	-4.90	6.459	-17.64	7.835	-35.28	9.939	0.98	11.918	55.86						
1.799	140.14	4.618	251.86	6.478	-2.94	7.876	-70.56	9.994	57.82	11.988	132.30						
1.855	174.44	4.665	-199.92	6.520	3.92	7.959	-13.72	10.022	-69.58	12.043	65.66						
1.924	-235.78	4.756	59.78	6.533	-3.92	7.987	-5.88	10.050	-32.34	12.112	84.28						
2.007	-312.62	4.831	-267.54	6.561	-9.80	8.001	21.56	10.105	5.88	12.168	27.44						

表 - 3.3 デ イ ジ タ ル 量 (2)

新 潟 N-S
資料 No. 29 ELE/47

時 間 (sec)	加速度 (gal)	時 間 (sec)	加速度 (gal)	時 間 (sec)	加速度 (gal)	時 間 (sec)	加速度 (gal)	時 間 (sec)	加速度 (gal)	時 間 (sec)	加速度 (gal)	時 間 (sec)	加速度 (gal)	時 間 (sec)	加速度 (gal)	時 間 (sec)	加速度 (gal)
0.000	22.250	2.160	2.250	4.000	-27.750	6.000	12.250	7.900	-50.250	9.900	-91.500	12.400	0.250	14.900	-12.750	17.700	14.750
0.040	-21.500	2.200	7.250	4.060	-47.750	6.020	26.000	7.940	-55.250	9.930	-90.250	12.500	14.950	47.500	17.740	2.250	
0.100	4.750	2.230	-4.000	4.100	7.250	6.070	9.750	8.000	-46.500	10.000	-46.500	12.600	-5.250	15.000	-2.750	17.800	1.000
0.130	27.250	2.280	-5.250	4.160	77.250	6.100	26.000	8.060	-41.500	10.080	19.750	12.700	2.250	15.100	3.500	17.900	6.000
0.200	-12.250	2.300	-22.750	4.200	-2.750	6.120	34.750	8.100	-42.750	10.100	14.750	12.800	-10.250	15.200	-0.250	17.950	12.250
0.220	7.250	2.330	-41.500	4.260	6.000	6.200	-5.250	8.200	-85.250	10.200	-46.500	12.870	-12.750	15.300	6.000	18.000	6.000
0.300	29.750	2.370	12.250	4.300	37.250	6.260	26.000	8.260	-85.250	10.230	-72.750	12.900	-10.250	15.400	12.250	18.100	-0.250
0.320	7.250	2.400	16.000	4.400	-6.500	6.280	21.000	8.300	-77.750	10.300	-50.250	13.000	2.250	15.500	11.000	18.200	1.000
0.400	2.250	2.450	27.250	4.480	17.250	6.300	-29.000	8.400	-37.750	10.380	32.250	13.100	-12.750	15.600	8.500	18.300	4.750
0.500	4.750	2.500	-6.500	4.500	2.250	6.400	18.500	8.500	-9.000	10.400	22.250	13.130	-20.250	15.700	14.750	18.400	2.250
0.540	7.250	2.600	36.000	4.520	-16.500	6.420	33.500	8.540	-2.750	10.410	12.250	13.200	-15.250	15.800	18.500	18.500	4.750
0.600	-21.500	2.670	-17.750	4.600	58.500	6.480	34.000	8.600	-37.750	10.500	18.500	13.300	-0.250	15.900	18.500	18.600	-2.750
0.650	-5.250	2.700	-10.250	4.640	58.500	6.500	-25.250	8.650	-67.750	10.570	6.000	13.350	2.250	16.000	24.750	18.700	-7.750
0.700	16.000	2.730	12.250	4.700	12.250	6.580	43.500	8.670	-47.750	10.600	12.250	13.400	-4.000	16.100	27.250	18.800	-9.000
0.750	26.000	2.800	-45.250	4.730	-36.500	6.600	32.250	8.700	-50.250	10.700	32.250	13.500	-21.500	16.200	39.750	18.900	-5.250
0.800	-5.250	2.900	7.250	4.800	19.750	6.640	-5.250	8.730	-52.750	10.800	19.750	13.540	-25.250	16.300	31.000	18.930	-4.000
0.900	-10.250	2.970	-34.000	4.840	21.000	6.700	2.250	8.800	-20.250	10.900	33.500	13.600	-20.250	16.360	24.750	19.000	-15.250
0.960	-30.250	3.000	14.750	4.900	-29.000	6.800	-10.250	8.900	64.750	11.000	49.750	13.670	-10.250	16.400	22.250	19.020	-19.000
1.000	-31.500	3.100	52.250	5.000	7.250	6.900	16.000	8.940	84.750	11.100	64.750	13.700	-12.750	16.500	32.250	19.100	-12.750
1.100	31.000	3.180	4.750	5.080	-2.750	6.920	22.250	9.000	77.250	11.200	78.500	13.800	-12.750	16.600	24.750	19.130	-7.750
1.120	37.250	3.200	8.500	5.100	-0.250	7.000	-32.750	9.020	72.250	11.230	84.750	13.900	-21.500	16.700	9.750	19.200	-1.6500
1.200	27.250	3.260	29.750	5.200	59.750	7.100	32.250	9.080	82.250	11.280	84.750	13.960	-20.250	16.720	12.250	19.300	-20.250
1.300	-22.750	3.280	27.250	5.290	-34.000	7.170	-50.250	9.100	74.750	11.300	66.000	14.000	-25.250	16.800	28.500	19.400	-22.750
1.340	-40.250	3.300	-27.750	5.300	-27.750	7.200	-35.250	9.110	53.500	11.370	12.250	14.050	-34.000	16.900	22.250	19.500	-25.250
1.400	-17.750	3.330	-70.250	5.400	-5.250	7.250	4.750	9.180	62.250	11.400	27.250	14.100	-27.750	16.940	22.250	19.600	-34.000
1.500	32.250	3.400	-37.750	5.420	12.250	7.300	-2.750	9.200	58.500	11.440	42.250	14.140	-16.500	17.000	16.000	19.700	-35.250
1.600	16.000	3.430	-47.750	5.500	-25.250	7.310	-9.000	9.250	54.750	11.500	24.750	14.200	-25.250	17.100	12.250	19.800	-37.750
1.670	42.250	3.500	-20.250	5.540	27.250	7.400	18.500	9.300	69.750	11.600	14.750	14.280	-32.750	17.200	21.000	19.900	-39.000
1.700	34.750	3.600	39.750	5.600	32.250	7.470	-35.250	9.400	112.250	11.700	14.750	14.300	-36.500	17.230	27.250	20.000	-42.750
1.800	-21.500	3.640	9.750	5.640	33.500	7.500	-25.250	9.500	134.750	11.800	21.000	14.400	-29.000	17.300	26.000	20.100	-47.750
1.820	-34.000	3.700	19.750	5.700	2.250	7.560	-22.750	9.580	69.750	11.900	21.000	14.500	-27.750	17.400	8.500	20.200	-44.000
1.900	3.500	3.720	27.250	5.720	-21.500	7.600	-37.750	9.600	71.000	12.000	13.500	14.600	-32.750	17.450	7.250	20.300	-40.250
2.000	59.750	3.800	-46.500	5.800	11.000	7.630	-47.750	9.620	69.750	12.100	9.750	14.700	-27.750	17.500	13.500	20.400	-41.500
2.020	63.500	3.900	-0.250	5.870	-5.250	7.700	-26.500	9.700	-20.250	12.200	8.500	14.780	-12.750	17.580	31.000	20.500	-30.250
2.160	21.000	3.930	21.000	5.900	-25.250	7.800	40.250	9.800	-22.750	12.300	7.250	14.800	-12.750	17.600	29.750	20.600	-16.500

新 潟 N - S
資料 No 29 ELE # 7

時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)
20.700	-24.000	24.100	11.000	27.200	6.000	30.700	-25.250										
20.800	-35.250	24.200	7.250	27.300	13.500	30.800	-27.750										
20.900	-26.500	24.300	-0.250	27.400	9.750	30.900	-29.000										
21.000	-19.000	24.400	-9.000	27.500	3.500	31.000	-25.250										
21.100	-21.500	24.500	-15.250	27.600	2.250	31.100	-24.000										
21.130	-21.500	24.600	-20.250	27.700	7.250	31.200	-25.250										
21.200	-9.000	24.700	-27.750	27.800	19.750	31.300	-26.500										
21.300	-12.750	24.800	-34.000	27.900	18.500	31.400	-26.500										
21.400	-11.500	24.840	-35.250	28.000	12.250	31.500	-25.250										
21.500	-6.500	24.900	-34.000	28.100	12.250	31.600	-25.250										
21.600	2.250	25.000	-35.250	28.200	17.250	31.700	-35.250										
21.700	17.250	25.100	-27.750	28.300	12.250	31.760	-40.250										
21.800	26.000	25.140	-40.250	28.400	9.750	31.800	-39.000										
21.900	24.750	25.200	-39.000	28.500	12.250	31.900	-34.000										
22.000	22.250	25.300	-27.750	28.600	14.750	32.000	-29.000										
22.100	19.750	25.400	-20.250	28.700	17.250	32.100	-25.250										
22.200	21.000	25.500	-19.000	28.800	12.250	32.200	-20.250										
22.300	27.250	25.600	-10.250	28.900	14.750	32.300	-20.250										
22.400	42.250	25.700	-12.750	29.000	12.250	32.400	-16.500										
22.500	46.000	25.800	-21.500	29.100	7.250	32.500	-20.250										
22.600	39.750	25.900	-16.500	29.200	1.000	32.600	-15.250										
22.700	51.000	26.000	-15.250	29.300	-4.000	32.700	-15.250										
22.800	62.250	26.100	-12.750	29.400	-9.000	32.800	-16.500										
22.900	52.250	26.200	-0.250	29.500	-9.000	32.900	-14.000										
23.000	62.250	26.300	7.250	29.600	-12.750	33.000	-9.000										
23.100	62.250	26.400	3.500	29.700	-16.500	33.100	-0.250										
23.200	52.250	26.440	2.250	29.800	-15.250	33.200	-9.000										
23.300	39.750	26.500	3.500	29.900	-9.000	33.300	-12.750										
23.400	32.250	26.600	9.750	30.000	-12.750	33.400	-12.750										
23.500	31.000	26.700	2.250	30.100	-25.250	33.500	-10.250										
23.600	32.250	26.730	-4.000	30.200	-32.750	33.600	-2.750										
23.700	37.250	26.800	-0.250	30.300	-21.500	33.700	2.250										
23.800	22.250	26.900	4.750	30.400	-7.750	33.800	3.500										
23.900	19.750	27.000	2.250	30.500	-10.250	33.900	-1.500										
24.000	17.250	27.100	6.000	30.600	-20.250	34.000	-4.000										

表 - 3.4 デ イ ジ タ ル 量 (3)

新 潟 E-W
資料 No. 31 ELE No. 3

時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)
0.000	13.125	1.900	10.625	4.100	35.625	6.060	74.375	8.040	-76.875	10.280	-9.375	13.300	-26.875	16.300	-11.875	19.600	1.875
0.060	10.625	1.960	5.625	4.140	55.625	6.100	45.625	8.100	-84.375	10.300	-9.375	13.400	-11.875	16.400	-8.125	19.700	-0.625
0.100	-11.875	2.000	20.625	4.200	10.625	6.160	-21.875	8.200	5.625	10.400	15.625	13.500	8.125	16.500	-16.875	19.800	1.875
0.170	24.375	2.080	43.125	4.210	-13.125	6.200	21.875	8.240	28.125	10.500	-4.375	13.600	5.625	16.600	-16.875	19.900	-13.125
0.200	21.875	2.100	40.625	4.260	-9.375	6.300	60.625	8.300	-10.625	10.540	-9.375	13.700	11.875	16.700	-16.875	20.000	-14.375
0.280	20.625	2.200	11.875	4.300	44.375	6.320	64.375	8.380	-24.375	10.600	-1.875	13.770	15.625	16.800	5.625	20.100	-10.625
0.300	3.125	2.220	-9.375	4.380	74.375	6.400	20.625	8.400	-54.375	10.680	16.875	13.800	5.625	16.900	10.625	20.120	-8.125
0.360	-4.375	2.270	-21.875	4.400	55.625	6.450	3.125	8.430	-78.125	10.700	20.625	13.860	-0.625	17.000	9.375	20.200	-10.625
0.400	-6.875	2.300	-0.625	4.500	-9.375	6.500	10.625	8.500	-66.875	10.800	20.625	13.900	-0.625	17.100	11.875	20.300	-19.375
0.450	-0.625	2.340	25.625	4.570	-4.375	6.560	35.625	8.570	-41.875	10.900	30.625	14.000	9.375	17.200	10.625	20.400	-29.375
0.500	13.125	2.400	36.875	4.600	-11.875	6.600	20.625	8.600	-61.875	11.000	58.125	14.100	3.125	17.300	8.125	20.500	-31.875
0.560	20.625	2.470	9.375	4.700	-25.625	6.620	-1.875	8.650	-91.875	11.080	66.875	14.200	-8.125	17.400	-4.375	20.600	-25.625
0.600	18.125	2.500	10.625	4.760	4.375	6.700	-8.125	8.700	-91.875	11.100	63.125	14.300	-13.125	17.500	-1.875	20.700	-26.875
0.670	11.875	2.560	11.875	4.800	39.375	6.740	-23.125	8.750	-95.625	11.200	33.125	14.400	-6.875	17.600	11.875	20.800	-25.625
0.700	-4.375	2.600	-13.125	4.840	58.125	6.800	34.375	8.800	-104.375	11.300	10.625	14.450	-4.375	17.650	13.125	20.900	-20.625
0.770	-0.625	2.700	-33.125	4.900	20.625	6.860	49.375	8.900	-156.875	11.400	-13.125	14.500	14.375	17.700	10.625	21.000	-25.625
0.800	20.625	2.760	45.625	5.000	21.875	6.900	45.625	8.950	-154.375	11.500	-4.375	14.600	-29.375	17.800	-4.375	21.100	-24.375
0.840	36.875	2.800	14.375	5.070	13.125	6.950	36.875	9.000	-119.375	11.600	-0.625	14.700	-24.375	17.900	-8.125	21.200	-15.625
0.900	8.125	2.900	28.125	5.100	24.375	7.000	11.875	9.010	-23.125	11.700	-1.875	14.800	-16.875	18.000	-11.875	21.300	-16.875
0.950	-0.625	3.000	40.625	5.130	33.125	7.080	11.875	9.100	11.875	11.750	-6.875	14.900	-9.375	18.100	-15.625	21.400	-16.875
1.000	5.625	3.100	-6.875	5.200	-8.125	7.100	3.125	9.200	84.375	11.800	-5.625	15.000	1.875	18.200	-21.875	21.500	-8.125
1.070	25.625	3.160	-29.375	5.270	-38.125	7.160	4.375	9.300	48.125	11.900	-1.875	15.100	9.375	18.300	-13.125	21.600	-3.125
1.100	6.875	3.200	18.125	5.300	-36.875	7.200	-4.375	9.400	-26.875	12.000	4.375	15.200	8.125	18.400	8.125	21.700	-4.375
1.150	-11.875	3.250	4.375	5.360	11.875	7.270	16.875	9.500	25.625	12.100	-1.875	15.300	10.625	18.500	15.625	21.800	-5.625
1.200	-3.125	3.300	8.125	5.400	-4.375	7.300	18.125	9.520	74.375	12.200	-0.625	15.400	5.625	18.600	14.375	21.900	-6.875
1.280	20.625	3.400	-4.375	5.500	36.875	7.370	11.875	9.560	93.125	12.300	-6.875	15.500	4.375	18.700	9.375	22.000	-8.125
1.300	20.625	3.500	38.125	5.530	45.625	7.400	16.875	9.600	91.875	12.400	-10.625	15.600	5.625	18.800	8.125	22.100	-5.625
1.400	5.625	3.520	48.125	5.600	20.625	7.480	53.125	9.700	91.875	12.500	-13.125	15.700	5.625	18.840	8.125	22.200	-3.125
1.500	16.875	3.600	-33.125	5.650	-9.375	7.500	50.625	9.800	43.125	12.600	16.875	15.800	4.375	18.900	3.125	22.300	-4.375
1.520	20.625	3.650	-76.875	5.700	-5.625	7.600	49.375	9.900	74.375	12.700	-18.125	15.900	-1.875	19.000	-16.875	22.400	-6.875
1.600	15.625	3.700	-41.875	5.750	1.875	7.700	44.375	9.950	83.125	12.800	-18.125	16.000	5.625	19.100	-14.375	22.500	-1.875
1.700	11.875	3.720	11.875	5.800	-1.875	7.800	-20.625	10.000	78.125	12.900	-19.375	16.100	5.625	19.200	-3.125	22.600	-1.875
1.780	-6.875	3.800	38.125	5.840	-16.875	7.880	8.125	10.100	65.625	13.000	-16.875	16.170	3.125	19.300	0.625	22.700	-10.625
1.800	4.375	3.900	-4.375	5.900	-14.375	7.900	3.125	10.180	66.875	13.100	-6.875	16.200	-6.875	19.400	4.375	22.800	-6.875
1.840	15.625	4.000	20.625	6.000	29.375	8.000	-49.375	10.200	41.875	13.200	-25.625	16.260	-14.375	19.500	0.625	22.900	-5.625

新 潟 E - W
資料 No. 31 ELE / No. 3

時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)
23.000	-15.625	26.500	21.875	29.800	31.875	33.200	8.125										
23.100	-16.875	26.600	21.875	29.900	9.375	33.300	6.875										
23.200	-6.875	26.700	-19.375	30.000	-9.375	33.400	-1.875										
23.300	-4.375	26.800	16.875	30.100	-20.625	33.500	8.125										
23.400	-4.375	26.900	-20.625	30.200	-26.875	33.600	8.125										
23.500	10.625	27.000	-19.375	30.300	-38.125	33.700	9.375										
23.600	11.875	27.100	21.875	30.400	-41.875	33.800	8.125										
23.700	10.625	27.200	-16.875	30.500	-44.375	33.900	5.625										
23.800	4.375	27.240	-11.875	30.600	-44.375												
23.900	3.125	27.300	-11.875	30.700	-41.875												
24.000	1.875	27.400	-14.375	30.800	-38.125												
24.100	6.875	27.500	-15.625	30.900	-34.375												
24.200	10.625	27.600	-19.375	31.000	-31.875												
24.300	13.125	27.700	-21.875	31.100	-16.875												
24.400	15.625	27.800	-25.625	31.200	-15.625												
24.500	10.625	27.900	-26.875	31.300	-13.125												
24.600	6.875	28.000	-21.875	31.400	-14.375												
24.700	5.625	28.100	-14.375	31.500	-14.375												
24.800	0.625	28.200	4.375	31.560	-15.625												
24.900	-4.375	28.300	16.875	31.600	-11.875												
25.000	-9.375	28.400	16.875	31.700	8.125												
25.100	-14.375	28.500	18.125	31.800	4.375												
25.200	-21.875	28.600	18.125	31.900	6.875												
25.300	-25.625	28.700	18.125	32.000	10.625												
25.400	-21.875	28.800	20.625	32.100	11.875												
25.500	19.375	28.900	18.125	32.200	-1.875												
25.600	-8.125	29.000	19.375	32.300	6.875												
25.700	-9.375	29.100	23.125	32.400	13.125												
25.800	-14.375	29.200	28.125	32.500	14.375												
25.900	-19.375	29.300	33.125	32.600	15.625												
26.000	-20.625	29.400	35.625	32.700	16.875												
26.100	-20.625	29.500	43.125	32.800	14.375												
26.200	-19.375	29.600	45.625	32.900	15.625												
26.300	-14.375	29.660	45.625	33.000	14.375												
26.400	-16.875	29.700	45.625	33.100	10.625												

時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)
19.860	-61.425	22.000	-1.425	24.300	1.075	26.970	21.075	29.400	13.575	31.670	33.575	33.900	22.325	36.500	-8.925				
19.900	43.575	22.100	-33.925	24.400	43.575	27.000	1.075	29.430	11.075	31.700	13.575	34.000	-8.925	36.600	-3.925				
19.980	84.825	22.200	24.825	24.500	-61.425	27.100	-23.925	29.500	6.075	31.730	1.075	34.100	-22.675	36.700	2.325				
20.000	63.575	22.220	34.825	24.600	26.075	27.200	17.325	29.580	9.825	31.800	-7.675	34.200	19.825	36.800	2.325				
20.070	-106.425	22.300	-45.175	24.670	56.825	27.300	-15.175	29.600	-3.925	31.840	-7.675	34.280	28.575	36.900	7.325				
20.100	-81.425	22.320	-45.175	24.700	43.575	27.340	-18.925	29.660	-18.925	31.900	17.325	34.300	16.075	37.000	-11.425				
20.200	42.325	22.400	6.075	24.800	-61.425	27.400	9.825	29.700	-7.675	31.940	36.075	34.400	-8.925	37.100	-6.425				
20.220	49.575	22.450	56.075	24.900	16.075	27.500	-11.425	29.780	14.825	32.000	-15.175	34.500	-16.425	37.200	16.075				
20.300	-7.675	22.500	-11.425	24.940	31.075	27.600	-6.425	29.800	8.575	32.050	-52.675	34.600	14.825	37.300	-7.675				
20.320	13.925	22.530	-53.925	25.000	-7.675	27.640	3.575	29.870	-5.175	32.100	-33.925	34.630	19.825	37.400	11.075				
20.400	63.575	22.600	-61.425	25.100	-26.425	27.700	-15.175	29.900	-1.425	32.200	51.075	34.700	4.825	37.430	17.325				
20.470	61.075	22.700	44.825	25.200	8.575	27.800	4.825	29.980	31.075	32.300	1.075	34.750	-3.925	37.500	-7.675				
20.500	14.825	22.800	2.325	25.230	22.325	27.860	16.075	30.000	28.575	32.360	-21.425	34.800	3.575	37.600	11.075				
20.600	-41.425	22.840	-27.675	25.300	-16.425	27.900	3.575	30.100	-17.625	32.400	-15.175	34.900	18.575	37.640	9.825				
20.660	-11.425	22.900	-16.425	25.350	-36.425	28.000	-51.425	30.200	-1.425	32.500	38.575	35.000	-12.675	37.700	-3.925				
20.700	39.825	23.000	54.825	25.400	-27.675	28.100	-13.925	30.300	16.075	32.600	-25.175	35.040	-15.175	37.720	-7.675				
20.780	13.575	23.100	-73.925	25.500	48.575	28.180	54.825	30.400	1.075	32.620	-51.425	35.100	-8.925	37.800	6.075				
20.800	-27.675	23.120	-95.175	25.600	-23.925	28.200	47.325	30.450	-8.925	32.700	-5.175	35.200	17.325	37.850	9.825				
20.880	-73.925	23.200	-6.425	25.700	-0.175	28.300	-30.175	30.500	1.075	32.780	49.825	35.300	3.575	37.900	9.825				
20.900	-41.425	23.260	71.075	25.800	16.075	28.340	-35.175	30.540	16.075	32.800	28.575	35.400	16.075	38.000	3.575				
20.990	126.075	23.300	38.575	25.900	1.075	28.400	-11.425	30.600	21.075	32.880	-33.925	35.480	-7.675	38.100	-21.425				
21.100	-21.425	23.370	-33.925	26.000	-21.425	28.480	29.825	30.700	-11.075	32.900	-20.175	35.500	-7.675	38.200	9.825				
21.130	-103.925	23.400	-13.925	26.100	2.325	28.500	8.575	30.800	-10.175	33.000	54.825	35.600	9.825	38.250	18.575				
21.200	-77.675	23.420	-11.425	26.150	18.575	28.570	-42.675	30.820	16.425	33.100	-21.425	35.640	-2.675	38.300	11.075				
21.300	69.825	23.500	11.075	26.200	-11.425	28.600	-31.425	30.900	4.825	33.160	-61.425	35.700	-27.675	38.400	-17.675				
21.400	33.925	23.600	-2.675	26.270	-10.175	28.700	13.575	30.970	16.075	33.200	-46.425	35.800	16.075	38.440	-21.425				
21.460	-71.425	23.620	1.075	26.300	6.075	28.760	14.825	31.000	-7.675	33.300	48.575	35.820	21.075	38.500	-13.925				
21.500	-18.575	23.700	-21.425	26.340	11.075	28.800	-6.425	31.050	-33.925	33.320	53.575	35.900	-3.925	38.600	13.575				
21.550	63.575	23.800	28.575	26.400	-2.675	28.900	-8.925	31.100	-11.425	33.400	14.825	35.930	-13.925	38.700	11.075				
21.600	36.075	23.900	-11.425	26.500	-45.175	29.000	26.075	31.180	43.575	33.500	-47.675	36.000	4.825	38.800	1.075				
21.700	-45.175	23.940	-32.675	26.600	13.575	29.100	-6.425	31.200	46.075	33.600	43.575	36.070	22.325	38.900	-6.425				
21.800	32.325	24.000	9.825	26.660	27.325	29.200	6.075	31.300	-21.425	33.700	-25.175	36.100	17.325	38.940	-7.675				
21.840	31.075	24.070	26.075	26.700	3.575	29.260	11.075	31.400	13.575	33.720	-28.925	36.200	-13.925	39.000	1.075				
21.900	-20.175	24.100	21.075	26.800	-40.175	29.300	-11.425	31.500	-8.925	33.800	-8.925	36.300	-1.425						
21.960	28.575	24.200	-38.925	26.900	13.575	29.370	-3.925	31.600	14.825	33.870	26.075	36.400	11.075						

表 - 3.5 デ イ ジ タ ル 量 (4)

鋼 路 N-S
資料第21 ELE 第1

時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)
0.000	-10.175	2.260	3.575	4.560	-15.175	6.600	23.575	8.630	-26.425	10.730	-52.675	12.940	71.075	15.260	28.575	17.710	51.075
0.050	-13.925	2.300	-20.175	4.600	-18.925	6.700	-5.175	8.700	-16.425	10.800	-58.925	13.000	3.575	15.300	59.825	17.800	88.575
0.100	-1.425	2.400	18.575	4.640	-17.675	6.730	-22.675	8.770	27.325	10.900	21.075	13.100	56.075	15.380	77.325	17.900	-83.925
0.110	3.575	2.500	-6.425	4.700	3.575	6.800	-22.675	8.800	-3.925	10.920	29.825	13.190	121.075	15.400	27.325	18.000	18.575
0.200	-15.175	2.580	-13.925	4.800	13.575	6.830	3.575	8.880	-26.425	11.000	7.325	13.300	-66.425	15.500	-82.675	18.080	97.325
0.220	-20.175	2.600	-0.175	4.840	16.075	6.900	6.075	8.900	-8.925	11.050	1.075	13.330	-77.675	15.600	53.575	18.100	58.575
0.300	3.575	2.630	9.825	4.900	-2.675	7.000	14.825	9.000	29.825	11.100	21.075	13.400	58.575	15.660	111.075	18.180	-40.175
0.400	-16.425	2.700	-1.425	4.980	-26.425	7.070	13.575	9.100	-21.425	11.180	-3.925	13.420	71.075	15.700	97.325	18.200	-23.925
0.470	-11.425	2.760	-11.425	5.000	-7.675	7.100	-13.925	9.180	-26.425	11.200	-7.675	13.500	-42.675	15.800	-93.925	18.220	-11.425
0.500	3.575	2.800	-7.675	5.050	3.575	7.110	-18.925	9.200	-8.925	11.240	-8.925	13.570	-105.175	15.850	-86.425	18.300	-53.925
0.600	-13.925	2.900	3.575	5.100	13.575	7.200	13.585	9.220	16.075	11.300	-38.925	13.600	-91.425	15.900	46.075	18.330	-46.425
0.700	-3.925	2.940	-11.425	5.160	4.825	7.270	-3.925	9.300	28.575	11.400	8.575	13.700	54.825	15.940	46.075	18.400	56.075
0.800	-8.925	3.000	-7.675	5.200	-27.675	7.300	1.425	9.400	-51.425	11.500	6.075	13.720	77.325	16.000	-91.425	18.480	54.825
0.850	-11.425	3.070	13.575	5.300	13.575	7.400	-3.925	9.500	26.075	11.540	-21.425	13.800	-28.925	16.040	-103.925	18.500	38.575
0.900	-3.925	3.100	9.825	5.340	26.075	7.470	18.575	9.600	22.325	11.600	3.575	13.880	-147.625	16.100	-15.175	18.520	7.325
0.950	1.075	3.170	9.825	5.400	7.325	7.500	6.075	9.680	-26.425	11.630	36.075	13.990	111.075	16.190	102.325	18.600	1.075
1.000	-11.425	3.200	-6.425	5.420	-18.925	7.600	-13.925	9.700	-16.425	11.700	-11.425	14.010	133.575	16.300	-56.425	18.700	33.575
1.040	-11.425	3.260	-22.675	5.500	-0.175	7.700	26.075	9.800	27.325	11.730	-36.425	14.100	23.575	16.400	56.075	18.750	53.575
1.100	-6.425	3.300	-7.675	5.500	11.075	7.750	-23.925	9.860	21.075	11.800	-18.925	14.130	-7.675	16.500	-65.175	18.800	31.075
1.200	-3.925	3.400	28.575	5.610	16.075	7.800	-11.425	9.900	-12.675	11.850	11.075	14.200	56.075	16.600	14.825	18.840	1.4875
1.300	-7.675	3.500	-43.925	5.700	-6.425	7.900	26.075	9.920	-23.925	11.900	18.575	14.220	78.575	16.640	13.575	18.900	-48.925
1.400	-8.925	3.600	17.325	5.740	-16.425	7.930	31.075	10.000	6.075	11.950	3.575	14.300	-53.925	16.700	-15.175	18.960	-57.675
1.420	-10.175	3.620	19.825	5.800	-5.175	8.000	-11.425	10.020	18.575	12.000	21.075	14.330	-88.925	16.740	-33.925	19.000	-21.425
1.500	1.075	3.700	-18.925	5.900	7.325	8.020	-31.425	10.100	-3.925	12.070	31.075	14.400	-46.425	16.800	-22.675	19.100	47.325
1.560	-8.925	3.800	-16.425	5.980	11.075	8.100	-10.175	10.160	-58.925	12.100	26.075	14.440	-45.175	16.870	-38.925	19.140	43.575
1.600	-6.425	3.900	11.075	6.000	-1.425	8.170	13.575	10.200	-57.675	12.200	-48.925	14.500	43.575	16.900	-16.425	19.200	1.075
1.680	1.075	3.920	16.075	6.060	-27.675	8.200	11.075	10.300	43.575	12.300	-10.175	14.600	88.575	17.000	34.825	19.250	29.825
1.700	-6.425	4.000	-13.925	6.100	-13.925	8.280	-1.425	10.320	48.575	12.330	2.325	14.670	31.075	17.100	-48.925	19.300	-15.175
1.780	-16.425	4.100	-28.925	6.160	19.825	8.300	16.075	10.400	11.075	12.400	4.825	14.700	-57.675	17.180	128.575	19.330	-6.425
1.800	-11.425	4.200	16.075	6.200	18.575	8.370	-16.425	10.450	28.575	12.500	2.325	14.800	32.325	17.300	-55.175	19.400	-38.925
1.900	7.325	4.220	26.075	6.300	-23.925	8.400	-2.675	10.500	18.575	12.600	-41.425	14.900	-56.425	17.400	41.075	19.500	11.075
2.000	-16.425	4.300	-27.675	6.400	19.825	8.480	34.825	10.540	3.575	12.640	-42.675	15.000	-3.925	17.480	142.325	19.600	-55.175
2.040	9.825	4.400	-2.675	6.450	27.325	8.500	23.575	10.600	13.575	12.700	-90.175	15.060	-88.925	17.580	-138.925	19.700	76.075
2.100	-1.425	4.470	26.075	6.500	-10.175	8.540	-11.425	10.680	16.075	12.800	-26.425	15.100	-47.675	17.600	-243.925	19.720	73.575
2.200	-3.925	4.500	21.075	6.520	-33.925	8.600	17.625	10.700	-3.925	12.900	71.075	15.200	12.325	17.700	4.825	19.800	-56.425

表 - 3.6 デイジタル量 (5)

創 路 E-W
資料 No 23 ELE 第3

時 間 (sec)	加速度 (gal)	時 間 (sec)	加速度 (gal)	時 間 (sec)	加速度 (gal)	時 間 (sec)	加速度 (gal)	時 間 (sec)	加速度 (gal)	時 間 (sec)	加速度 (gal)	時 間 (sec)	加速度 (gal)	時 間 (sec)	加速度 (gal)	時 間 (sec)	加速度 (gal)
0.000	-16.000	2.260	-24.750	4.200	11.500	6.000	4.000	7.600	6.500	9.240	25.250	10.630	-50.500	12.190	-81.000	14.340	-114.750
0.100	29.000	2.300	-17.250	4.270	59.000	6.100	-28.500	7.620	14.000	9.280	-4.750	10.700	25.250	12.250	-91.000	14.350	-178.500
0.200	-19.750	2.320	-18.500	4.300	34.000	6.200	41.500	7.670	1.500	9.300	-6.000	10.790	-23.500	12.300	16.500	14.370	-177.250
0.270	16.500	2.400	47.750	4.380	-33.500	6.300	-16.000	7.700	19.000	9.350	-43.500	10.800	-64.750	12.390	95.250	14.390	-188.500
0.300	14.000	2.450	16.500	4.400	-27.250	6.370	-26.000	7.800	-14.750	9.400	-2.250	10.840	-7.250	12.500	-62.250	14.500	-37.270
0.400	-11.000	2.500	-46.000	4.430	-56.000	6.400	-4.750	7.900	-26.000	9.440	-2.250	10.870	-13.500	12.600	72.750	14.570	184.000
0.500	14.000	2.600	24.000	4.500	17.750	6.490	27.750	7.950	31.500	9.500	26.500	10.900	7.750	12.670	121.500	14.580	221.500
0.560	4.000	2.680	46.500	4.580	49.000	6.500	21.500	8.000	-1.000	9.560	35.250	10.940	11.500	12.600	-67.750	14.700	-21.000
0.600	7.750	2.700	-3.500	4.600	31.500	6.580	-31.000	8.030	-21.000	9.600	-44.750	10.980	41.500	12.780	-142.250	14.750	-151.000
0.700	-6.000	2.800	-58.500	4.630	29.000	6.600	-6.000	8.100	16.500	9.630	-42.250	11.000	35.250	12.830	-176.000	14.800	-17.250
0.760	20.250	2.900	49.000	4.700	-38.500	6.620	-6.000	8.140	19.000	9.670	-49.750	11.050	-6.000	12.890	-112.250	14.830	57.750
0.800	4.000	3.000	-38.500	4.780	-49.750	6.670	25.250	8.200	-33.500	9.700	7.750	11.070	25.250	12.980	127.750	14.890	111.500
0.840	-4.750	3.020	-21.000	4.800	4.000	6.700	19.000	8.240	-21.000	9.730	84.000	11.100	1.500	13.000	149.000	14.900	135.250
0.900	6.500	3.100	-6.000	4.900	49.000	6.760	-13.500	8.300	-42.250	9.780	69.000	11.200	-8.500	13.100	-26.000	14.990	-87.250
0.960	1.500	3.140	32.750	4.990	-27.250	6.800	10.250	8.330	34.000	9.790	75.250	11.220	10.250	13.180	131.000	15.060	-208.500
1.000	11.500	3.170	14.000	5.000	-21.000	6.870	-13.500	8.400	41.500	9.810	-11.000	11.270	-14.750	13.270	171.500	15.180	-156.500
1.100	0.250	3.200	32.750	5.050	-29.750	6.900	-8.500	8.480	4.000	9.860	-13.500	11.300	27.750	13.390	-83.500	15.220	156.500
1.180	12.750	3.300	-24.750	5.100	1.500	6.940	12.750	8.500	-33.500	9.900	-71.000	11.320	-4.750	13.410	-106.000	15.300	-6.000
1.200	-2.250	3.400	12.750	5.120	29.000	6.970	-16.000	8.530	-76.000	9.920	-57.250	11.400	-21.000	13.470	-173.500	15.360	-189.750
1.300	0.250	3.420	32.750	5.200	1.500	7.000	7.750	8.550	-24.750	9.940	-56.000	11.410	-33.500	13.560	44.000	15.480	151.500
1.320	12.750	3.500	-2.250	5.240	-8.500	7.050	16.500	8.590	-3.500	10.000	36.500	11.460	-2.250	13.580	131.500	15.490	166.500
1.400	-4.750	3.560	-52.250	5.300	19.000	7.060	1.500	8.600	41.500	10.070	16.500	11.500	-26.000	13.600	191.500	15.600	69.000
1.470	-13.500	3.600	-29.750	5.400	11.500	7.100	10.250	8.660	-21.500	10.100	1.500	11.530	0.250	13.690	107.750	15.680	-156.000
1.500	4.000	3.670	59.000	5.460	-28.500	7.130	7.750	8.700	29.750	10.120	4.000	11.570	-4.750	13.790	-78.500	15.710	-58.500
1.570	20.250	3.700	57.750	5.500	-18.500	7.160	-21.000	8.800	49.000	10.140	-11.000	11.600	41.500	13.840	-131.000	15.740	-83.500
1.600	10.250	3.790	-46.000	5.600	31.500	7.170	-8.500	8.870	1.500	10.170	14.000	11.700	-33.500	13.900	-21.000	15.800	69.000
1.700	-6.000	3.800	-36.000	5.660	24.000	7.200	-23.500	8.900	11.500	10.200	12.750	11.770	-27.250	13.940	77.750	15.810	175.250
1.770	-14.750	3.820	-68.500	5.700	6.500	7.270	7.750	8.970	-21.000	10.240	-21.000	11.800	34.000	14.000	-56.000	15.860	210.250
1.800	0.250	3.900	6.500	5.720	4.000	7.300	0.250	9.000	-9.750	10.270	-4.750	11.820	71.500	14.040	-58.500	15.980	-129.750
1.870	34.000	3.970	70.250	5.740	-13.500	7.320	31.500	9.050	-4.750	10.300	-33.500	11.900	-14.750	14.090	-106.000	16.020	-289.750
1.900	14.000	4.000	25.250	5.800	-21.000	7.380	9.000	9.070	16.500	10.380	-57.250	11.980	-62.250	14.110	-133.500	16.160	39.000
2.000	-29.750	4.080	-28.500	5.840	-8.500	7.400	-23.500	9.100	-3.500	10.400	-46.000	12.000	-21.000	14.170	144.000	16.170	166.500
2.100	36.500	4.100	-13.500	5.870	-21.000	7.460	-8.500	9.120	-14.750	10.500	50.250	12.070	81.500	14.180	201.500	16.200	247.750
2.160	35.250	4.130	-48.500	5.900	16.500	7.500	-27.250	9.200	9.000	10.510	91.500	12.100	67.750	14.210	226.500	16.300	59.000
2.200	-12.250	4.170	-48.500	5.930	36.500	7.570	25.250	9.210	20.250	10.600	-29.750	12.120	62.750	14.300	25.250	16.360	-208.500

鋼 路 E - W
資料 No 23 ELE No 3

時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)
16.380	-158.500	17.910	111.500	19.260	-74.750	20.600	-38.500	22.160	-21.000	23.600	-17.250	25.040	36.500	26.740	-39.750	28.400	34.000
16.390	-176.000	17.940	110.250	19.280	-127.250	20.650	-103.500	22.200	-4.750	23.630	1.500	25.080	15.250	26.800	0.250	28.500	-33.500
16.490	79.000	17.950	174.000	19.330	-63.500	20.700	-6.000	22.240	84.000	23.660	29.000	25.100	19.000	26.830	30.250	28.520	-43.500
16.540	161.500	17.970	170.250	19.360	-81.000	20.720	74.000	22.300	10.250	23.680	14.000	25.180	-6.000	26.870	-1.000	28.600	16.500
16.580	125.250	18.100	-43.500	19.400	16.500	20.760	79.000	22.320	16.500	23.700	14.000	25.200	14.000	26.900	-12.250	28.700	4.000
16.700	4.000	18.150	-176.000	19.440	44.000	20.780	141.500	22.340	-26.000	23.770	-33.500	25.300	-33.500	26.930	-29.750	28.780	11.500
16.750	-216.000	18.180	-142.250	19.480	154.000	20.820	49.000	22.400	-31.000	23.800	16.500	25.340	-56.000	27.000	-11.000	28.800	4.000
16.880	136.500	18.240	70.250	19.600	-67.250	20.900	-63.500	22.460	37.750	23.830	19.000	25.400	-21.000	27.040	-11.000	28.840	-38.500
16.930	191.500	18.270	107.750	19.620	-46.000	20.940	-37.250	22.500	41.500	23.850	29.000	25.500	34.000	27.070	6.500	28.880	-28.500
16.990	-116.500	18.280	150.250	19.630	-171.000	21.000	-46.000	22.520	41.500	23.900	-11.000	25.540	19.000	27.100	14.000	28.900	-32.250
17.050	-224.750	18.310	89.000	19.700	-83.500	21.010	-58.500	22.600	-14.750	23.920	-38.500	25.580	26.500	27.180	19.000	28.940	-41.000
17.060	-299.750	18.350	121.500	19.730	-109.000	21.040	-28.500	22.640	-33.500	24.000	-21.000	25.600	20.250	27.200	9.000	29.000	6.500
17.160	0.000	18.370	61.500	19.770	25.250	21.080	-51.000	22.670	-26.000	24.040	16.500	25.700	-26.000	27.230	0.000	29.100	16.500
17.170	361.500	18.390	104.000	19.780	176.500	21.100	-48.500	22.700	-51.000	24.100	34.000	25.800	-1.000	27.260	-1.000	29.180	0.250
17.180	341.500	18.440	10.250	19.900	79.000	21.160	30.250	22.750	9.000	24.140	11.500	25.830	-1.000	27.300	1.500	29.200	6.500
17.190	346.500	18.470	-3.500	19.920	-12.250	21.180	19.000	22.800	-14.750	24.200	165.000	25.870	-4.750	27.360	-29.750	29.300	-13.500
17.200	372.750	18.490	-81.000	19.940	-14.750	21.200	34.000	22.820	-3.500	24.280	-31.000	25.900	4.000	27.400	-19.750	29.370	44.000
17.260	186.000	18.550	-183.500	19.960	-123.500	21.300	9.000	22.870	-62.250	24.300	-8.500	25.940	16.500	27.430	-4.750	29.400	31.500
17.350	0.000	18.580	-151.000	19.990	-98.500	21.380	-64.750	22.900	6.500	24.330	9.000	26.000	-31.000	27.490	-11.000	29.480	-28.500
17.370	-179.750	18.650	41.500	20.030	-128.500	21.400	-6.000	22.930	70.250	24.370	1.500	26.030	-51.000	27.500	21.500	29.500	-23.500
17.390	-313.500	18.670	41.500	20.090	49.000	21.460	135.250	22.970	64.750	24.400	16.500	26.080	-7.250	27.600	-43.500	29.520	-21.000
17.400	-312.250	18.680	131.500	20.100	-12.250	21.500	71.500	22.990	106.500	24.450	-43.500	26.100	-8.500	27.620	-43.500	29.540	-33.500
17.440	-307.250	18.720	112.750	20.150	81.500	21.580	-129.750	23.090	-58.500	24.500	5.250	26.140	20.250	27.700	36.500	29.570	-23.500
17.550	89.000	18.750	116.500	20.200	45.250	21.610	-194.750	23.100	-46.000	24.570	-13.500	26.200	16.500	27.780	-4.750	29.600	-21.000
17.560	166.500	18.790	96.500	20.240	32.750	21.700	-21.000	23.110	-28.500	24.600	-8.500	26.230	20.250	27.800	-6.000	29.640	-18.500
17.570	249.000	18.880	-88.500	20.280	-29.750	21.710	84.000	23.130	-36.000	24.630	16.500	26.300	-22.250	27.840	36.000	29.680	45.250
17.590	212.750	18.890	-88.500	20.300	-19.750	21.780	154.000	23.180	-8.500	24.680	-17.250	26.320	-39.750	27.900	0.250	29.700	35.250
17.680	71.500	18.900	-74.750	20.350	-64.750	21.880	37.750	23.200	-11.000	24.700	-8.500	26.360	-29.750	27.960	21.500	29.800	16.500
17.700	74.000	18.940	-117.250	20.360	-58.500	21.900	32.750	23.240	-43.500	24.730	-1.000	26.400	-39.750	28.000	1.500	29.890	-79.750
17.710	24.000	19.000	19.000	20.400	-66.000	21.930	-13.500	23.300	-8.500	24.780	0.250	26.480	1.500	28.100	-36.000	30.000	41.500
17.740	11.500	19.020	96.500	20.420	36.500	21.970	-7.250	23.360	-0.850	24.800	19.000	26.500	-1.000	28.170	-33.500	30.100	29.000
17.770	-174.750	19.080	132.750	20.450	36.500	22.000	-28.500	23.400	25.250	24.880	6.500	26.540	-4.750	28.200	25.250	30.120	1.500
17.800	-251.000	19.100	159.000	20.480	64.000	22.030	-104.750	23.460	66.500	24.900	-33.500	26.600	35.250	28.240	4.000	30.200	-8.500
17.840	-198.500	19.200	-16.000	20.500	61.500	22.070	-91.000	23.500	10.250	24.980	-41.000	26.680	-33.500	28.300	7.750	30.250	-46.000
17.850	-188.500	19.220	-99.750	20.530	69.000	22.090	-117.250	23.560	-5.600	25.000	-3.500	26.700	-36.000	28.330	-4.750	30.300	-12.250

創 路 E - W
資料 No 23 ELE No 3

時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)	時 間 (sec)	加 速 度 (gal)
30.350	29.000	32.250	-58.500	34.300	-26.000	36.300	12.750	38.700	4.000								
30.400	21.500	32.300	-33.500	34.370	-13.500	36.400	-21.000	38.780	36.500								
30.460	14.000	32.400	20.250	34.380	4.000	36.500	11.500	38.800	31.500								
30.470	-8.500	32.450	7.750	34.400	9.000	36.560	31.500	38.900	6.500								
30.500	-17.250	32.500	35.250	34.470	20.250	36.600	20.250	39.000	19.000								
30.550	-66.000	32.600	1.500	34.500	6.500	36.700	-28.500										
30.600	-33.500	32.650	-48.500	34.580	6.500	36.780	6.500										
30.690	75.250	32.700	-18.500	34.600	4.000	36.800	7.250										
30.800	-11.000	32.740	14.000	34.700	-16.000	36.900	46.500										
30.840	-17.250	32.800	12.750	34.740	-4.750	37.000	-18.500										
30.880	-51.000	32.840	46.500	34.800	-1.000	37.100	-67.250										
30.900	-51.000	32.900	32.750	34.900	-11.000	37.200	10.250										
30.980	-4.750	32.990	-17.250	34.970	6.500	37.300	34.000										
31.000	29.000	33.000	-43.500	35.000	-4.750	37.390	16.500										
31.060	4.000	33.100	-21.000	35.040	-6.000	37.400	-8.500										
31.100	20.250	33.170	36.500	35.100	22.750	37.500	16.500										
31.160	7.750	33.200	32.750	35.200	4.000	37.520	20.250										
31.170	-17.250	33.230	7.750	35.300	-33.500	37.600	7.750										
31.200	-27.250	33.300	-21.000	35.400	31.500	37.680	-36.000										
31.270	-46.000	33.340	-62.250	35.500	-16.000	37.700	-24.750										
31.300	-28.500	33.400	-4.750	35.580	20.250	37.720	-3.500										
31.400	20.250	33.500	32.750	35.600	17.750	37.800	25.250										
31.500	-32.250	33.570	-11.000	35.700	-4.750	37.900	10.250										
31.600	14.000	33.600	-17.250	35.740	7.750	37.930	-13.500										
31.700	19.000	33.680	-49.750	35.800	-1.000	38.000	-16.000										
31.750	31.500	33.700	10.250	35.870	1.500	38.100	9.000										
31.800	25.250	33.800	47.750	35.900	-4.750	38.160	25.250										
31.840	-13.500	33.850	32.750	35.930	-6.000	38.200	11.500										
31.900	-1.000	33.900	-26.000	35.970	1.500	38.300	-14.750										
31.940	-29.750	33.970	-33.500	36.000	1.500	38.350	-13.500										
31.980	-41.000	34.000	-8.500	36.050	4.000	38.380	10.250										
32.000	-29.750	34.020	14.000	36.100	-11.000	38.400	14.000										
32.100	61.500	34.100	25.250	36.140	-24.750	38.450	25.250										
32.160	-3.500	34.120	45.250	36.200	-2.250	38.500	11.500										
32.200	-16.000	34.200	24.000	36.270	16.500	38.600	-11.000										

表-3.7 吊橋主塔の最大応答 (1)

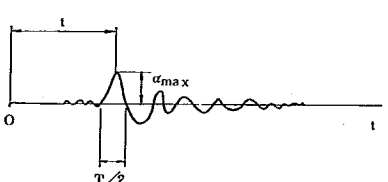
実験番号		(1) El Centro, N-S, '40						地震波最大加速度 — $\ddot{Z}_{\max}$ —		313.06 ^{gal}
実験日		昭和42年10月18日						実験入力最大加速度 — $\ddot{Z}_B \max$ —		275 ^{gal}
測点番号	最大応答 加速度 $\alpha_{\max}$	$\alpha_{\max}$ の生ずる 時刻 t	$\alpha_{\max}$ の周期 T	最大応答 歪 $\epsilon_{\max}$	$\epsilon_{\max}$ の生ずる 時刻 t	$\epsilon_{\max}$ の周期 T	断 面 係 数 W	最大応答 応 力 度 σ	最大応答 曲げモー メント M	備 考
1	gal -212	sec 2.17	sec 0.12	$\times 10^{-6}$ 90	sec 1.27	sec 0.24	m ³ 3.172	$\sqrt{m}^2$ 1,890	tm 5,995	
2	-248	4.04	0.12	225	5.84	0.80	3.524	4,725	16,650	
3	—	—	—	185	5.84	0.83	3.886	3,885	15,100	加速度ピックアップ不良
4	-224	1.93	0.12	110	4.91	0.91	4.286	2,310	9,900	歪計不良
5	-212	4.14	0.11	190	4.85	0.40	4.739	3,990	18,910	
6	+335	1.77	0.28	147	4.41	0.36	5.989	3,087	18,490	
7	+375	4.06	0.24	95	0.97	0.036	6.447	1,995	12,860	
8	+295	3.90	0.08	164	5.69	0.080	6.910	3,434	23,730	
9	+275	1.51	0.14	241	5.63	0.076	7.415	5,051	37,450	
10	+250	1.51	0.14	—	—	—	—	—	—	
10	最大応答 変 位 $\delta_{\max}$	$\delta_{\max}$ の生ずる 時刻 t	$\delta_{\max}$ の周期 T							
	m/m —	sec —	sec —							

表-3.8 吊橋主塔の最大応答 (2)

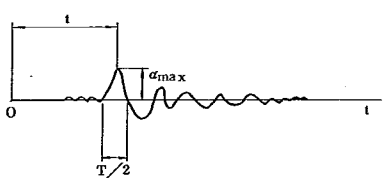
実験番号		(2) Niigata, N-S, '64					地震波最大加速度 — $\ddot{Z}_{\max}$ —			137.13 gal
実験日		昭和42年12月22日					実験入力最大加速度 — $\ddot{Z}_B \max$ —			127 gal
測点番号	最大応答 加速度 $\alpha_{\max}$	$\alpha_{\max}$ の生ずる 時刻 t	$\alpha_{\max}$ の周期 T	最大応答 歪 $\epsilon_{\max}$	$\epsilon_{\max}$ の生ずる 時刻 t	$\epsilon_{\max}$ の周期 T	断面 係数 W	最大応答 応力度 σ	最大応答 曲げモー メント M	備 考
1	-150 gal	3.81 sec	0.16 sec	$\times 10^{-6}$ 54	3.61 sec	0.36 sec	3.172 cm^3	1.124 $\sqrt{\text{kg}/\text{cm}^2}$	3564 $\text{kg}\cdot\text{cm}$	
2	-160	4.56	0.11	144	3.97	0.36	3.524	3.024	10621	
3	-176	3.73	0.095	140	6.23	0.87	3.886	2.940	11420	
4	-157	3.73	0.12	90	6.19	0.79	4.286	1.890	8100	
5	-113	1.94	0.095	99	6.11	0.79	4.739	2.069	9805	
6	+181	3.49	0.28	66	3.65	0.32	5.989	1.386	8301	
7	-200	3.25	0.36	80	5.48	0.83	6.447	1.680	10830	
8	-200	3.25	0.28	114	5.48	0.79	6.910	2.394	16540	
9	-127	3.25	0.36	128	6.27	0.75	7.415	2.678	19860	
10	-141	3.25	0.36	—	—	—	—	—	—	
10	最大応答 変位 $\delta_{\max}$	$\delta_{\max}$ の生ずる 時刻 t	$\delta_{\max}$ の周期 T							
	mm 52.2	sec 7.3	sec 1.5							

表-3.9 吊橋主塔の最大応答 (3)

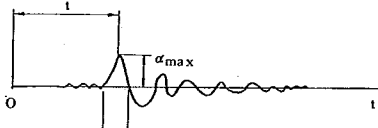
実験番号		(3) Niigata, E-W, '64					地震波最大加速度 — $\ddot{Z}_{\max}$ —		156.88 ^{gal}	
実験日		昭和42年12月22日					実験入力最大加速度 — $\ddot{Z}_B \max$ —		188 ^{gal}	
測点番号	最大応答 加速度 $\alpha_{\max}$	$\alpha_{\max}$ の生ずる 時刻 t	$\alpha_{\max}$ の周期 T'	最大応答 歪 $\epsilon_{\max}$	$\epsilon_{\max}$ の生ずる 時刻 t	$\epsilon_{\max}$ の周期 T'	断面 係数 W	最大応答 応力度 σ	最大応答 曲げモー メント M	備考
1	-163 ^{gal}	9.25 ^{sec}	0.32 ^{sec}	$\times 10^{-6}$ 117	9.76 ^{sec}	0.79 ^{sec}	3.172 ^{m³}	2447 ^{$\sqrt{\text{cm}}^2$}	7762 tm	
2	-240	9.72	0.87	381	9.76	1.19	3.524	7991	28160	
3	-212	9.08	0.32	360	9.76	1.19	3.886	7560	29380	
4	-164	10.7	0.99	270	9.9	0.99	4.286	5670	24300	
5	-175	9.4	0.36	340	10.1	0.95	4.739	7140	33840	
6	+329	9.68	0.32	227	9.60	0.87	5.989	4767	28550	
7	+319	10.99	0.36	140	9.05	0.79	6.447	2940	18950	
8	-187	8.73	0.32	202	10.9	0.87	6.910	4232	29240	
9	-188	8.73	0.32	392	10.1	0.87	7.415	8222	60960	
10	-188	8.73	0.36	—	—	—	—	—	—	
10	最大応答 変位 $\delta_{\max}$	$\delta_{\max}$ の生ずる 時刻 t	$\delta_{\max}$ の周期 T'							
	m/in 1.74	^{sec} 9.8	^{sec} 1.6							

表-3.10 吊橋主塔の最大応答 (4)

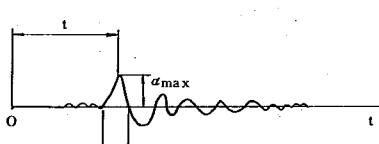
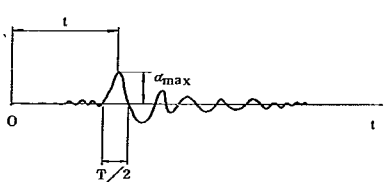
実験番号		(4) Kushiro, N-S, '62					地震波最大加速度 — $\ddot{Z}_{max}$ —		243.88 gal	
実験日		昭和42年12月22日					実験入力最大加速度 — $\ddot{Z}_B max$ —		269 gal	
測点番号	最大応答 加速度 α_{max}	α_{max} の生ずる 時刻 t	α_{max} の周期 T	最大応答 歪 ϵ_{max}	ϵ_{max} の生ずる 時刻 t	ϵ_{max} の周期 T	断 面 係 数 W	最大応答 応 力 度 σ	最大応答 曲げモー メント M	備 考
1	gal	sec	sec	$\times 10^{-6}$	sec	sec	m ³	$\sqrt{m^2}$	tm	
1	-286	20.76	0.30	85	15.02	0.36	3.172	1,781	5,649	
2	-284	18.30	0.28	216	15.03	0.46	3.524	4,538	15,992	
3	-200	24.00	0.27	138	12.74	1.00	3.886	2,888	11,221	
4	+393	18.40	0.31	169	11.46	1.44	4.286	3,539	15,170	
5	-230	18.24	0.26	143	12.15	0.72	4.739	2,999	14,217	
6	+257	19.10	0.30	95	14.82	0.44	5.989	1,981	11,867	
7	+394	18.26	0.30	75	20.84	0.50	6.447	2,625	16,923	
8	+400	18.28	0.23	112	11.50	1.32	6.910	2,349	16,231	
9	+269	18.27	0.39	173	20.35	0.70	7.415	3,627	25,913	
10	+261	18.26	0.38	—	—	—	—	—	—	
10	最大応答 変 位 δ_{max}	δ_{max} の生ずる 時刻 t	δ_{max} の周期 T							
	mm	sec	sec							
	40	14.04	1.30							

表-3.11 吊橋主塔の最大応答 (5)

実験番号		(5) Kushiro, E-W, '62					地震波最大加速度 — $\ddot{Z}_{max}$ —			372.75 gal
実験日		昭和42年12月22日					実験入力最大加速度 — $\ddot{Z}_{Bmax}$ —			324 gal
側点番号	最大応答 加速度 α_{max}	α_{max} の生ずる 時刻 t	α_{max} の周期 T	最大応答 歪 ϵ_{max}	ϵ_{max} の生ずる 時刻 t	ϵ_{max} の周期 T	断面 係数 W	最大応答 応力度 σ	最大応答 曲げモー メント M	備 考
1	gal +197	sec 16.42	sec 0.20	$\times 10^{-6}$ 66	sec 16.23	sec 0.36	m ³ 3.172	t/m ² 1.406	ton 4.460	
2	+168	16.40	0.22	1.44	16.65	0.56	3.524	3.025	10.661	
3	-197	18.10	0.26	108	16.63	0.50	3.886	2.258	8.773	
4	+244	16.32	0.30	73	16.48	0.80	4.286	1.534	6.575	
5	+184	17.03	0.26	114	16.43	0.48	4.739	2.391	11.331	
6	-300	17.03	0.40	106	16.66	0.46	5.989	2.229	13.351	
7	-290	16.30	0.36	83	16.10	0.36	6.447	1.733	11.169	
8	-332	16.25	0.34	61	16.67	0.44	6.910	1.289	8.910	
9	-324	16.24	0.42	109	17.13	0.56	7.415	3.291	16.989	
10	-300	16.24	0.44	—	—	—	—	—	—	
10	最大応答 変位 δ_{max}	δ_{max} の生ずる 時刻 t	δ_{max} の周期 T							
	m/m 12.2	sec 17.6	sec 1.6							

4. 結果の検討

吊橋上部構造の地震応答解析が準備中のため上記の実験結果に対する厳密な意味での検討はまだなされていないが、幸い本四調査事務所が昭和40年11月に作成した予備設計断面を用いて、地震荷重のみによる吊橋主塔の曲げモーメントを、文献(24)に示された修正震度法にもとづいて計算しており、また上下部構造全橋の動的解析結果もあるので、とくに吊橋主塔基部における曲げモーメントに着目して若干の検討を試みることにする。

表-3.7~1.1に示された3地震5成分の地震加速度入力による主塔各点の最大応答加速度および曲げモーメントを表-3.12, 13, 図-3.17, 18に示し、とくに主塔基部の曲げモーメントを表-3.14に抽出する。たゞし、図表中の加速度および曲げモーメントは主塔基部への入力加速度の最大値 $\ddot{Z}_{Bmax}$ が200galとなるように単純な比例計算を行なって換算してある。

表-3.12 最大応答加速度 (gal)

測 定 点	①	②	③	④	⑤
	El Centro, N-S	Niigata, N-S	Niigata, E-W	Kushiro, N-S	Kushiro, E-W
1	-154	-236	-174	-213	121
2	-180	-252	-255	-211	104
3	-	-277	-226	-149	-121
4	-163	-247	-174	292	151
5	-154	-178	-186	-171	114
6	244	285	351	191	-185
7	273	-315	339	293	-179
8	215	-315	-200	297	-143
9	200	-200	-200	200	-200

表-3.13 最大応答曲げモーメント (tm)

測 定 点	①	②	③	④	⑤
	El Centro, N-S	Niigata, N-S	Niigata, E-W	Kushiro, N-S	Kushiro, E-W
1	8.720	11.225	16.514	8.399	5.508
2	24.217	33.452	59.913	23.779	13.161
3	22.021	35.968	62.509	16.885	10.830
4	14.400	25.512	51.701	22.556	8.117
5	27.505	30.882	71.998	21.139	13.988
6	26.894	26.145	60.743	17.645	16.482
7	18.705	34.110	40.318	25.163	13.788
8	34.515	52.094	62.211	24.134	10.999
9	54.471	62.551	129.698	38.530	20.973

表-3.14 主塔基部の最大応答曲げモーメント(実験)

種類	成 分 名	$\ddot{Z}_{max}$	$\ddot{Z}_B max$	$M_B max(200gal 当り)$	μ_1	μ_2
1	El Centro, N-S	313.06 gal	275 gal	54.473 tm	0.361	0.251
2	Niigata, N-S	137.13	127	62.551	0.414	0.288
3	Niigata, E-W	156.88	188	129.702	0.859	0.598
4	Kushiro, N-S	243.88	269	38.532	0.255	0.178
5	Kushiro, E-W	372.75	324	20.974	0.139	0.097

表中の記号の意味は、

- $\ddot{Z}_{\max}$: 地震加速度の最大値 (gal)
- $\ddot{Z}_B \max$: 実験の際、実際に塔基部へ伝達された加速度の最大値 (gal)
- $\alpha \max$: 各点の最大応答加速度 (gal)
- $M_{\max}$: 各点の最大応答曲げモーメント (tm)
- $M_B \max$: 塔基部における最大応答曲げモーメント (tm)
- μ_1 : 基盤における地震動の入力速度が200 gal の場合の基本応答震度曲線より導いた設計震度
〔文献(24)参照〕を用いて、予備設計L1500M の上部構造について地震荷重のみによる静
的な計算を行なったときの主塔基部の曲げモーメント $M_1 = 15,1028 \text{ t} \cdot \text{m}$ (荷重状態Ⅰとする)
に対する $M_B \max$ の割合
- μ_2 : 予備設計L1500M において荷重状態が $[D + L/2 + EQ(HF) + T(30)]$ であるときの主
塔基部の曲げモーメント $M_2 = 216,852 \text{ t} \cdot \text{m}$ (荷重状態Ⅱとする)に対する $M_B \max$ の割合
〔文献(25)参照〕。ただし、 D 、 L 、 EQ 、 T は死荷重、活荷重、温度変化を示し、 HF は
水平方向に地震動が作用するとき吊構造部およびケーブルが鉛直方向に振動する状態を表
わす。

また、地震応答スペクトル曲線を用いて三径間吊橋の上下部構造全橋の地震応答解析を行なった結果から、主
塔基部における最大応答曲げモーメント M_{dy} を抽出して示すと表-3.15のごとくなる。ただし、 M_{dy} は各モ

表-3.15 主塔基部の最大応答曲げモーメント(解析)

ケース	根入れ	水深	E_R	E_S	$M_{dy}(\eta/p=2\%)$	$M_{dy}(\eta/p=5\%)$
1	10m	50m	$1 \times 10^{14} \text{ t/m}^2$	$1 \times 10^{14} \text{ t/m}^2$	72,651 tm	55,627
2	10	50	600,000	16,000	251,088	189,401
3	20	40	〃	〃	416,642	319,425
4	10	50	80,000	10,000	550,525	422,545
5	20	40	〃	〃	549,096	417,527
6	10	50	40,000	5,000	286,991	212,028
7	20	40	〃	〃	299,577	229,673

Dの応答の2乗和の平方根の値(荷重状態Ⅲとする)である。本解析の対象実橋は、主径間長1500m、側径
間長750m、塔高226m、アンカー・ピア寸法100×70×65m、メイン・ピア寸法50×80×75mであり、底面
および側面地盤の弾性係数 E_R 、 E_S は表中のごとくである。本解析は根入れ・水深・地盤の弾性係数を種々変
えて7ケースにわたり演算したものである。ケース1は地盤の弾性係数が無限大(下部構造は地盤と一体の振動
をなす)と見なし得る場合であり、本解析では基盤の加速度が200 galの平均応答スペクトル曲線を用いている
ので、塔基部が200 galの地震動を受けた場合に相当する。

さて表-3.14をみると実験結果は計算値よりかなり小さくなっているが、鉋路E-W成分によるものは相当
近接した値を示しており、地震動の性格によっては修正震度法による計算値を超過する場合もないとはいえない。

図-3.7 El Centro(N-S)成分による応答加速度および変位

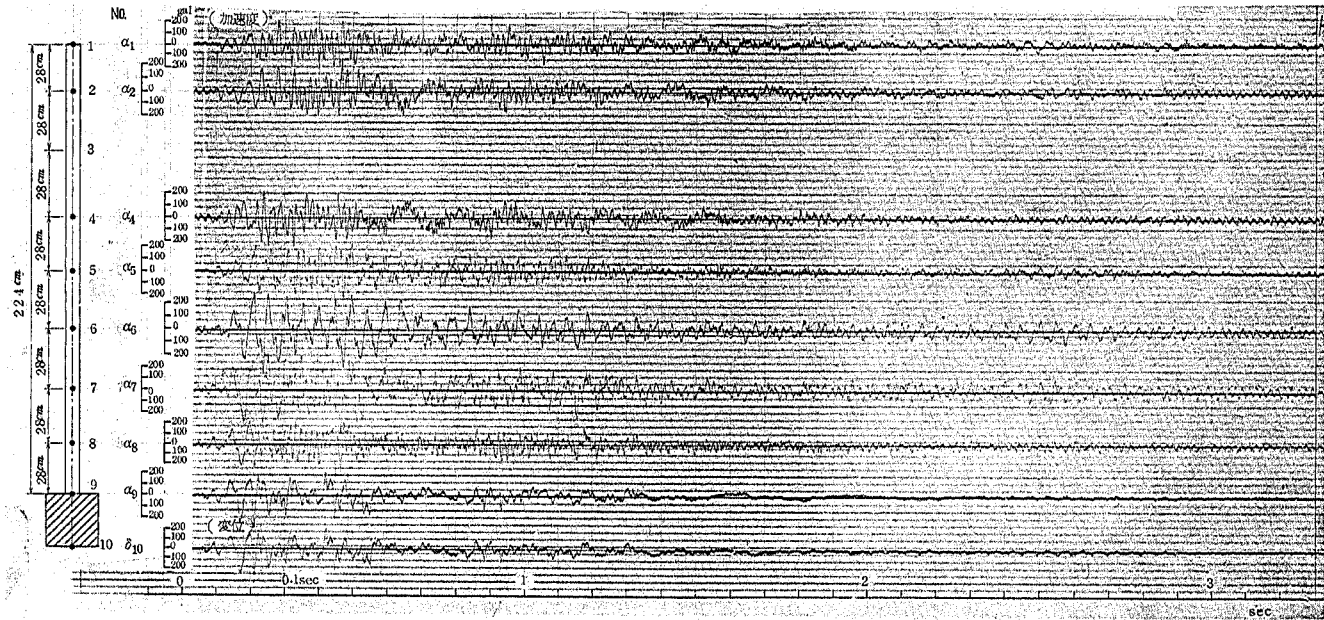


図-3.8 El Centro (N-S) 成分による応答歪

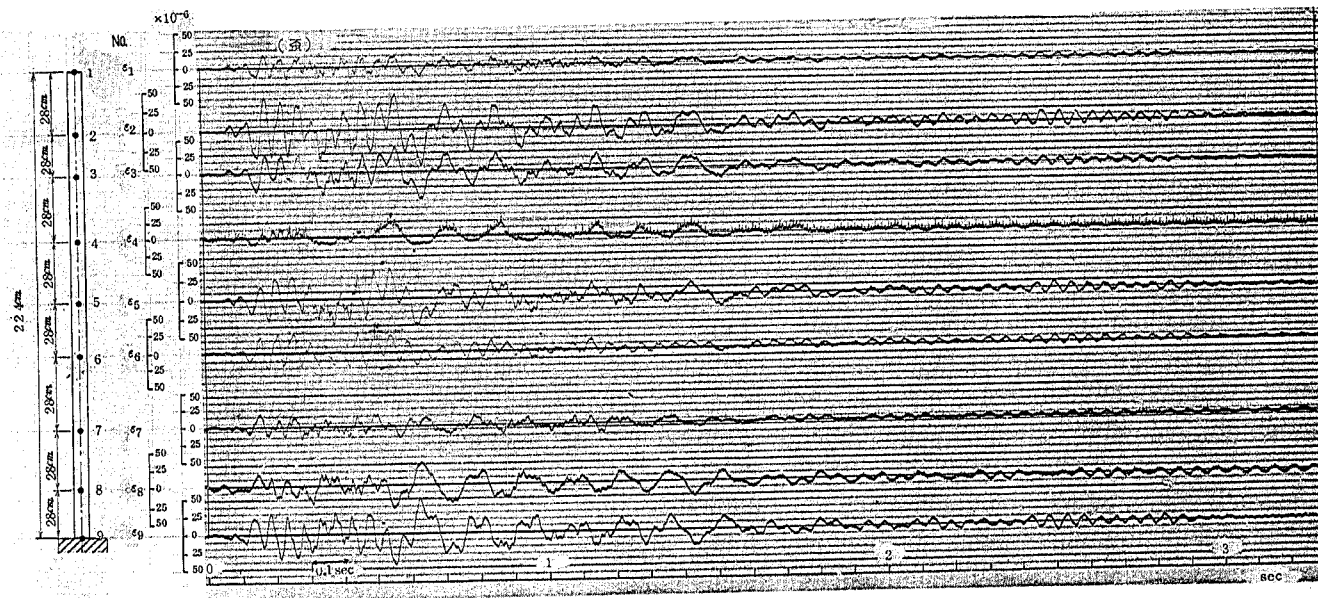


図-3.9 Niigata(N-S)成分による応答加速度および変位

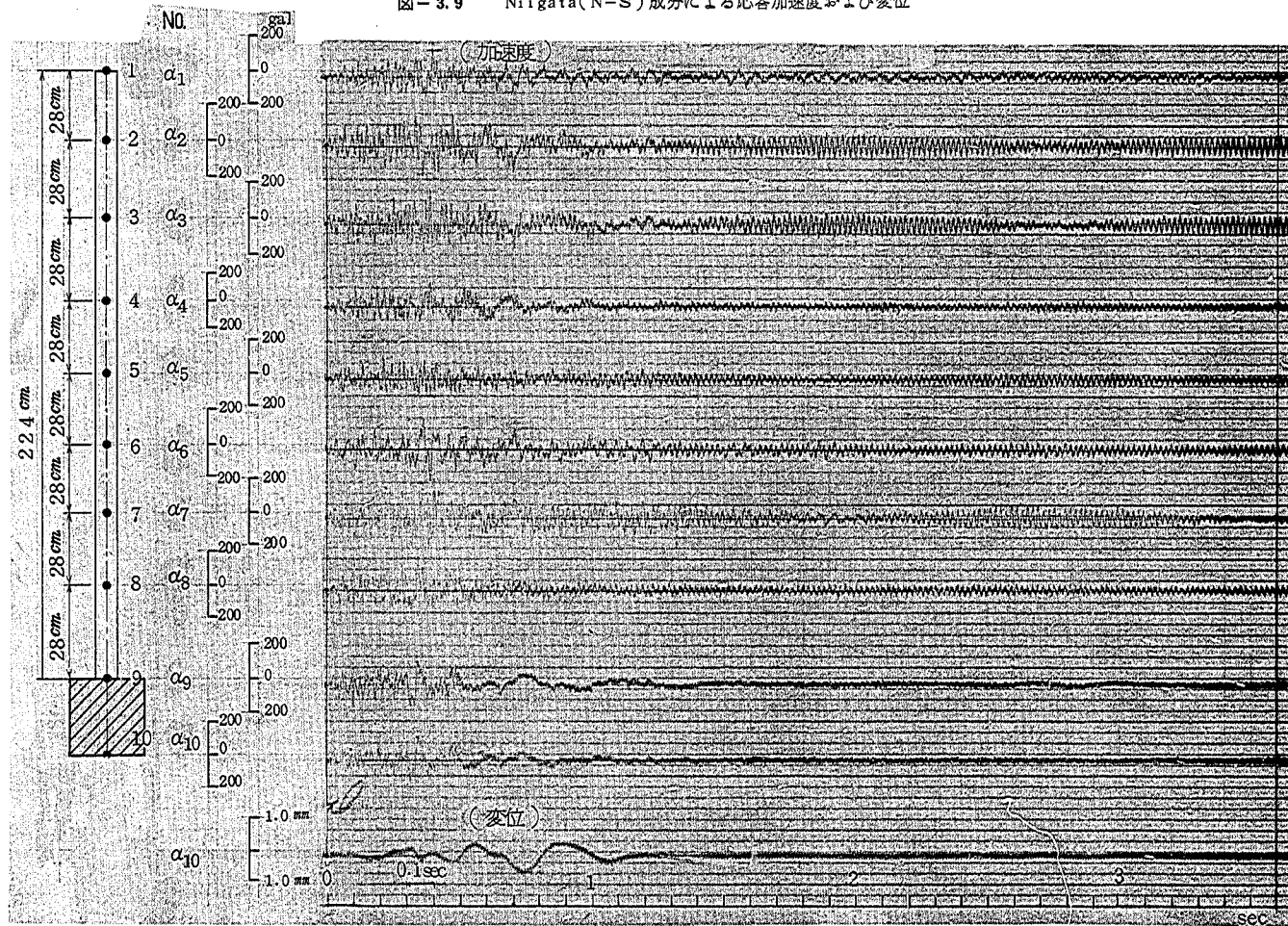


図-3.10 Niigata(N-S)成分による応答歪

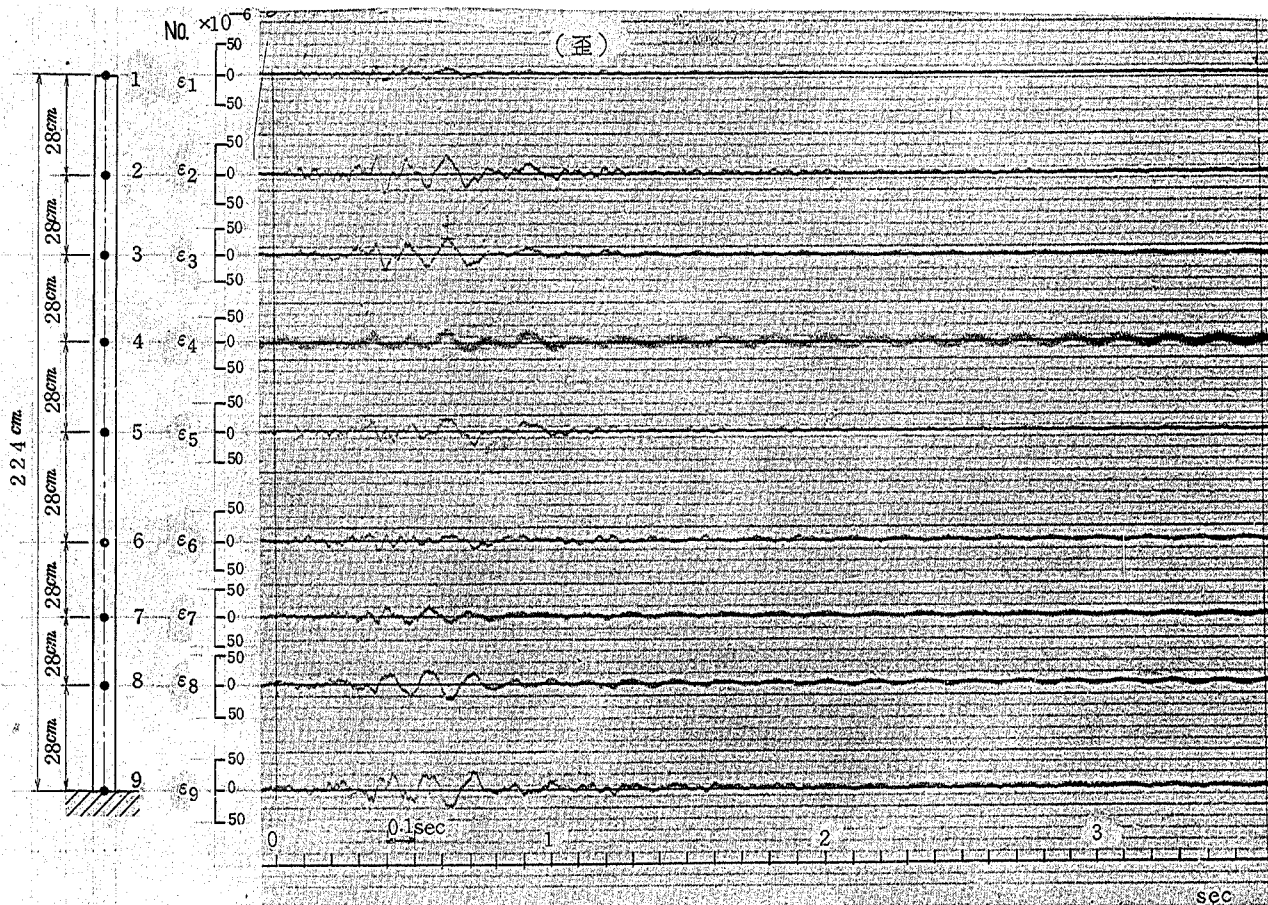


図-3.11 Niigata(N-S) 成分による応答加速度および変位

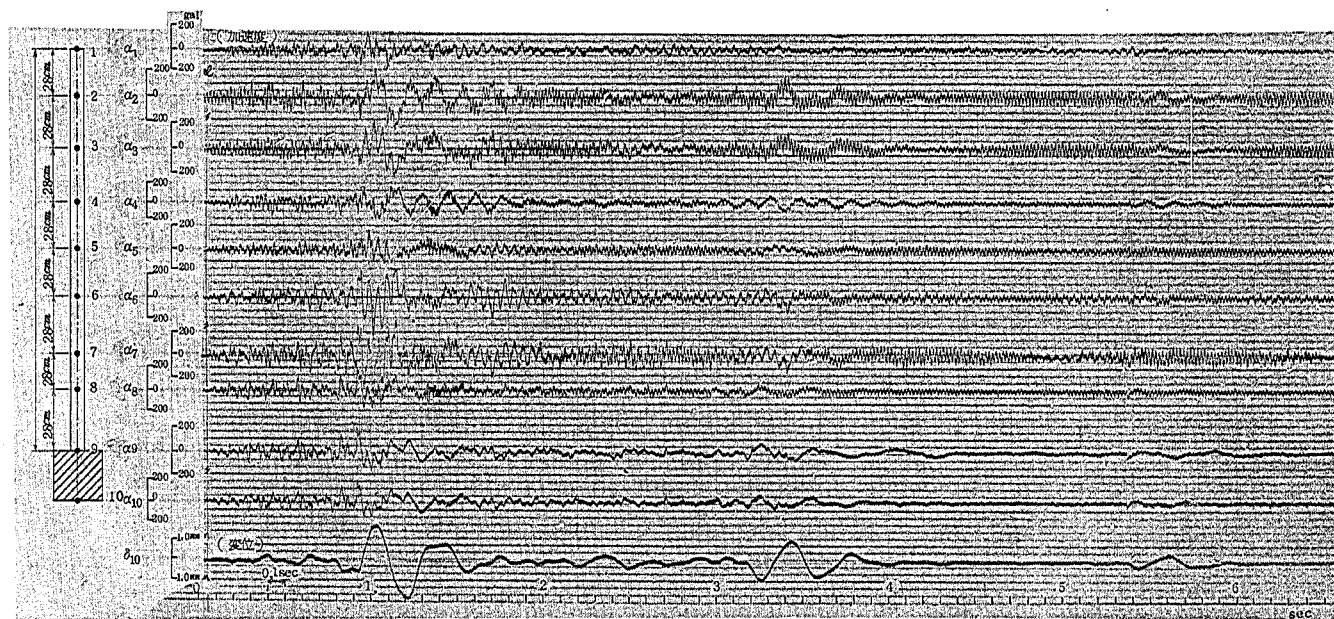


図-3.12 Niigata (E-W) 成分による応答歪

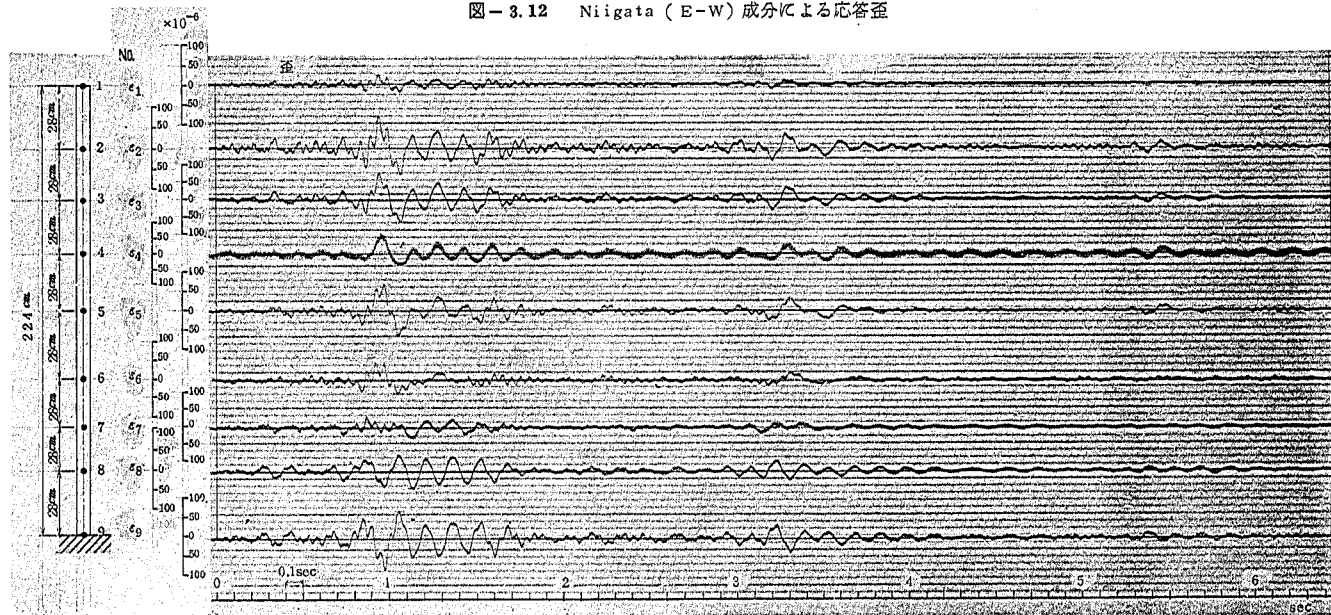


図-3.13 Kushiro(N-S)成分による応答加速度および変位

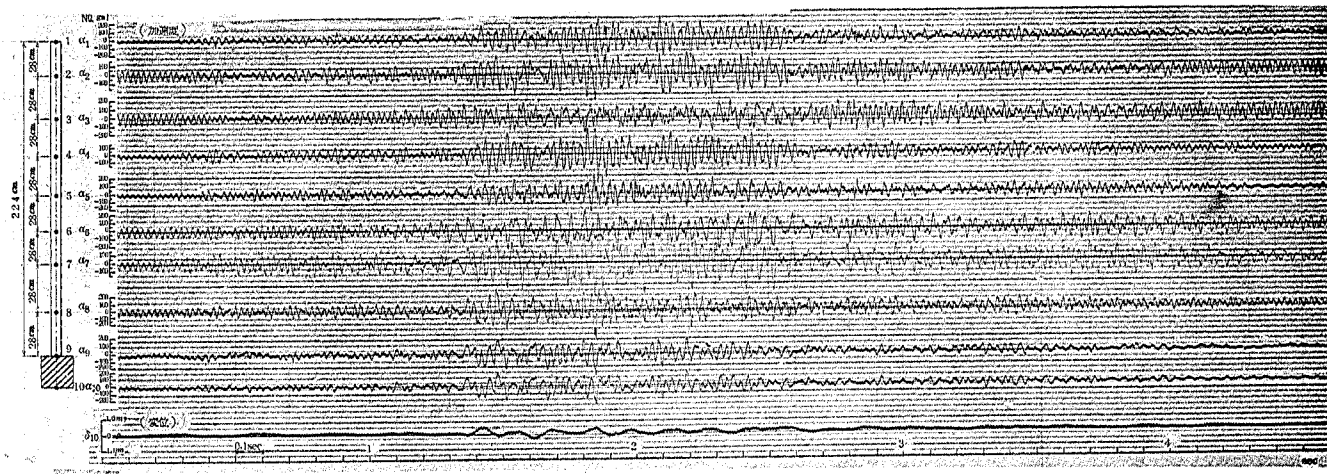


図-3.14 Kushiro(N-S)成分による応答歪

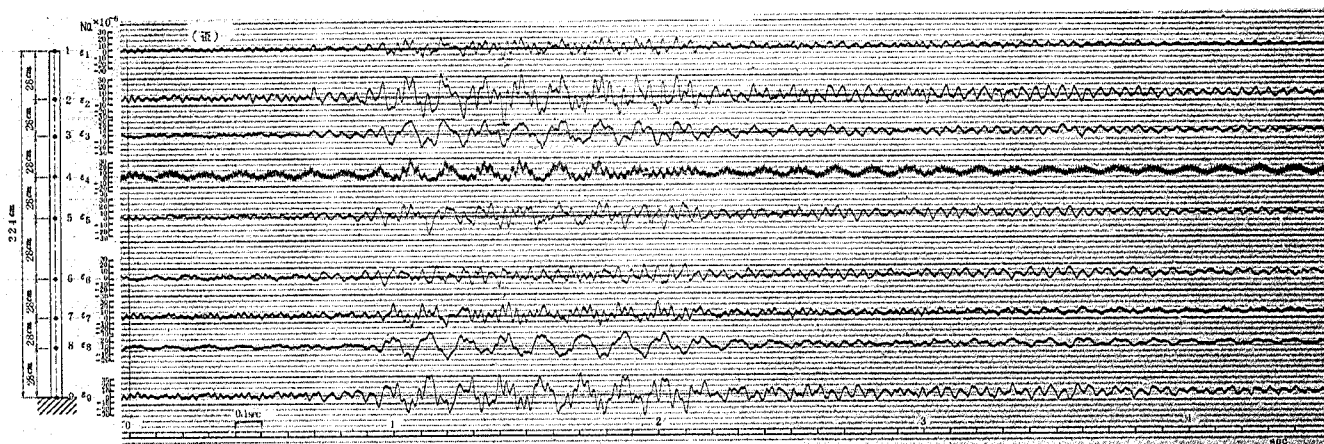


図-3.16 Kushiro(E-W)成分による応答歪

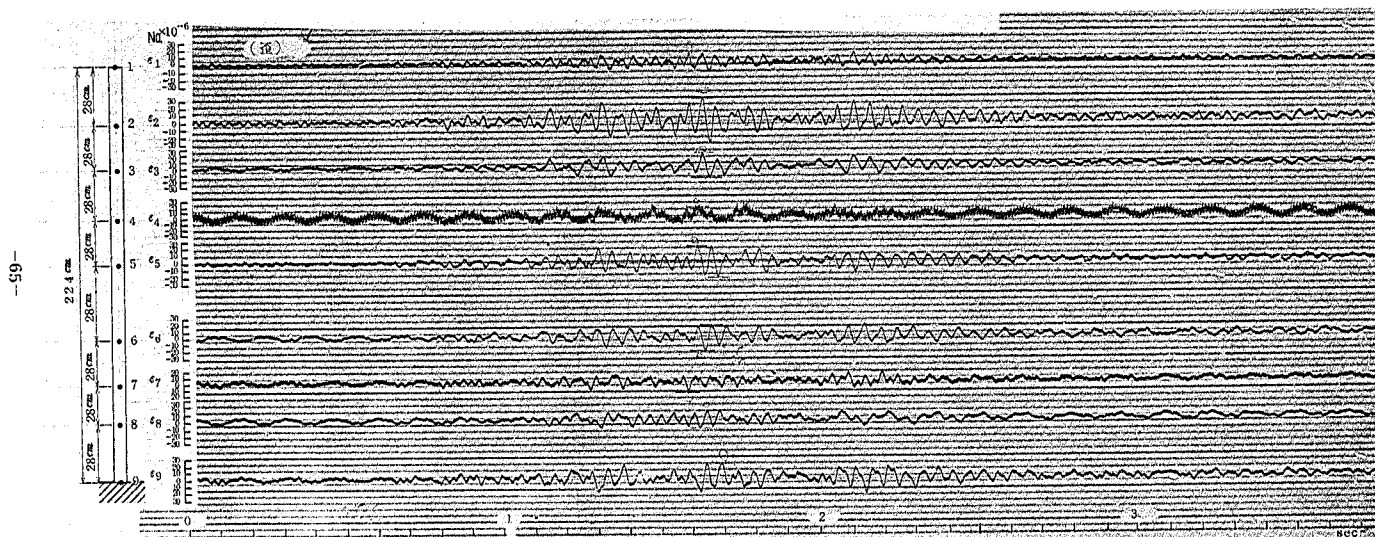


図-3.17 各点の最大応答加速度 ($\ddot{z}_{B\max} = 200 \text{ gal}$)

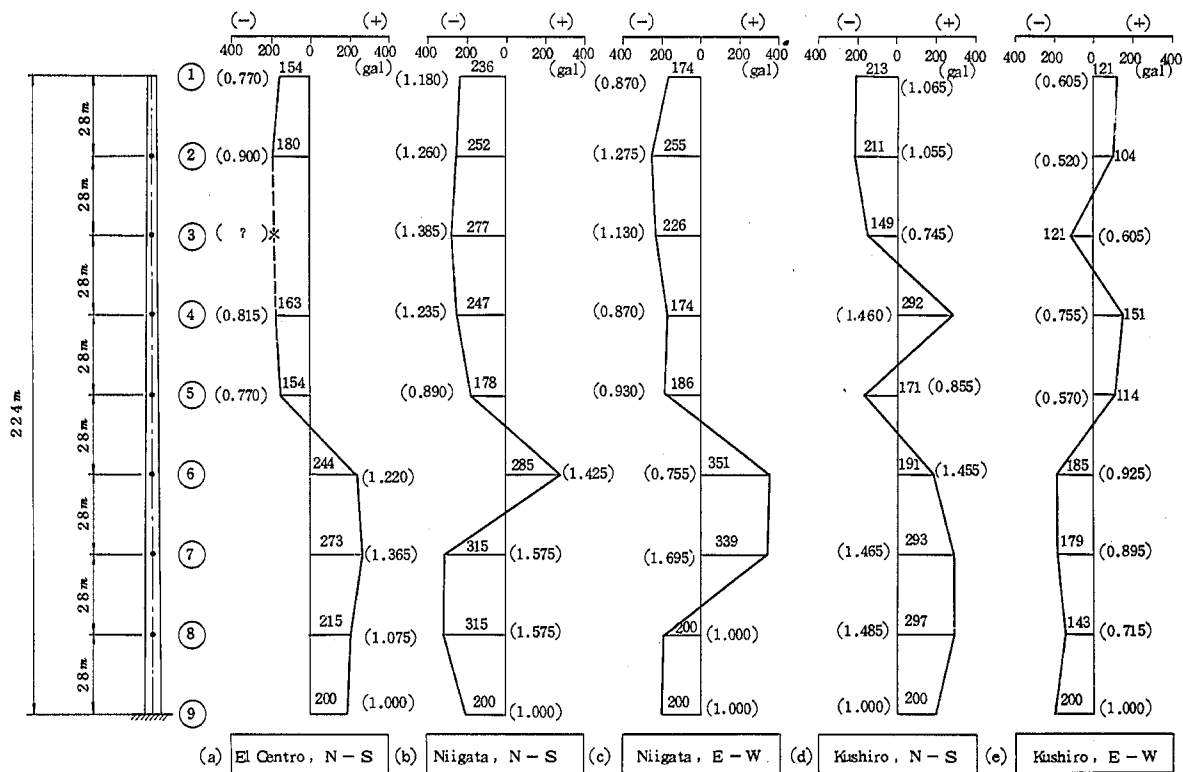
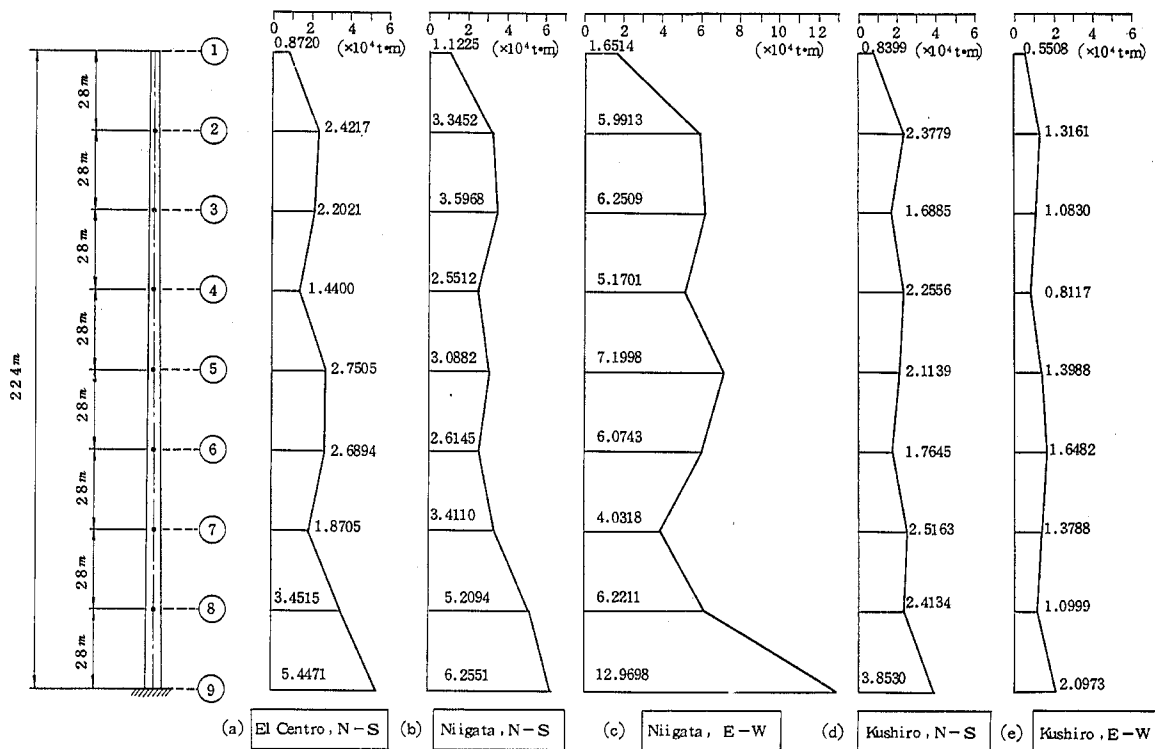


図-3.18 各点の最大応答曲げモーメント ($\ddot{z}_{gmax} = 200 \text{ gal}$)



一方、地震応答解析のケース 1

($\eta/p = 2, 5\%$) の絶対値和の値を試みにとってみると、それぞれ 171, 594 tm, 132, 645 tm となり修正震度法にもとづく計算値に近い。

これらの関係を模式的に示すと図-3.19 のごとくなり、修正震度法による計算値は絶対値和に、実験値は 2 乗和の平方根に近いといえる。更に多くの地震波を用いて実験を行なわないと確定的なことはいえないが、図-3.19 に示されたような傾向はほぼ次のような原因にもとづくものと判断できる。

1) 主塔において応答が最も卓越すると思われる 1 次の固有周期

が、模型では設計・解析の場合に対し 2.5 倍近く伸びており、これが応答を下げていていると思われる。この理由として考えられるのは、吊構造部およびケーブルの影響、主塔位置振動板の回転の影響その他である。

2) 設計の際の固有周期 $T = 1.41 \text{ sec}$ をもとに、5 成分の動的応答倍率 β (地震動加速度の最大値に対する応答加速度の最大値の比) を文献 (22) によって求めてみると

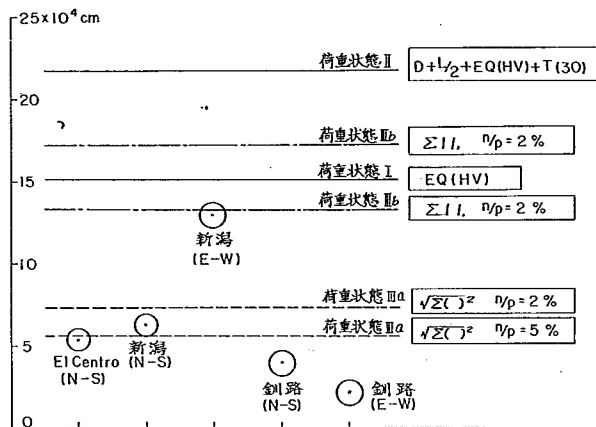
El Centro, N-S	: $\beta = 0.86$
新潟, N-S	: $\beta = 1.75$
新潟, E-W	: $\beta = 1.25$
釧路, N-S	: $\beta = 0.29$
釧路, E-W	: $\beta = 0.25$

のごとくなり、また荷重状態 I の算定の基本となった平均応答スペクトル曲線では $\beta = 1.35$ となっている点から考えて、新潟 E-W 成分による応答が荷重状態 I に近接し釧路 N-S, E-W 成分による応答がその 1/2 程度になっているのは妥当であるといえる。一方 El Centro N-S 成分も $\beta = 0.86 < 1.35$ なる関係が図-3.19 によって裏付けられている。しかし新潟 N-S 成分による応答は実験では非常に小さくてきており原因は定かではない。

3) 1 自由度の弾性線型系による地震応答スペクトル曲線を多自由度系に適用する場合の補正係数 [文献 (24) 参照] が実際よりもやや大きめに評価されていると思われる。

結局、修正震度法にもとづく計算値が動的解析による絶対値和に近く、実験値が 2 乗和の平方根に近いという傾向からみて、真の値はこれらの中間にあるものと考えられ、更に多くの実験を行ない、動的解析の面からこれを検討するとともに、設計・解析・実験の三者についてより合理的な手法を確立することにより、現行の耐震設計法をよりよく改善してゆく予定である。

図-3.19 設計・解析・実験値の比較



結

論

対象を吊橋主塔に限り、模型実験の精度や比較的大きい地震記録5成分のみを用いたという条件を考慮しても、現行の修正震度法にもとづく吊橋主塔の耐震設計法は十分に安全な値を示すと判断できる。したがって、より多くの大小の地震記録を用いて実験を積み重ね、一方理論解析を多角的に行ない、それらの総合的評価を行なえば、現行の設計震度は低下する方向に行くと考えられる。昭和43年度中にも、吊橋上部構造の耐震設計法に関する現段階での成果にもとづく総括を行なう予定である。

附 章

吊橋の振動実験に関する文献調査

付 章 吊橋の振動実験に関する文献調査

本章においては、吊橋の固有振動特性を求めるために建設省土木研究所が行なった5つの吊橋についての振動実験の結果の要約を紹介し、前章の模型による振動実験とあわせて、本州四国連絡橋耐震調査における資料とする。

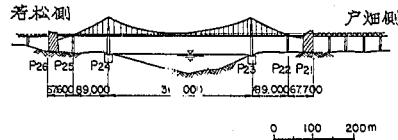
5つの吊橋とは、昭和37～40年の間に架設された、若戸大橋・二軒橋・菌原橋・大峰橋・川俣大橋であり、これらの固有振動数・減衰定数を求めるために振動実験が行われた。

吊橋の振動実験に関する文献調査

地震応算計算の有 無

整理番号	橋（架設年月）名	架橋位置（路線・河川）	管理機関	実験種類	実験実施機関	実施年月日	引用文献
1/1(II+H-Truss)	若戸橋 (1962. 9)	福岡県・北九州市(国道199号線) 洞海灣	日本道路公団福岡支社	実験 $P(D_y)_{sup}$	土木研究所	1962年 8月17日~25日	16, 17 18

一般図



基礎の状況

下部構造位置では約15mの沖・洪積層があり、その下に若松側では砂岩・頁岩から成る層、戸畑側では礫岩からなる層が横たわっている。

一般諸元

上部構造（三径間二鉸補剛吊橋）

諸元	径間長	主塔高	主桁(桁)間隔	構(桁)高	中央径間サジ	上部総重量
数値	367 m	78.94 m	19.60 m	4.5 m	36.1 m	19,000 t
下部構造（ケーソン基礎）						
諸元	外形寸法	根入れ	水深	設計震度	下部総重量	
右	メインピヤ 40×17m×27m	7 m	2 m	$k_H=0.15, k_V=0.10$	t	
	ベント・橋脚 6.6×6.6m×19m	19 m	0 m			
調	アンカー・ブロック 34×15m×60m	23 m	0 m			
左	メインピヤ 40×17m×23.5m	23.5 m	0 m	$k_H=0.15, k_V=0.10$	t	
	ベント・橋脚 6.5×6.5m×22m	22 m	0 m			
調	アンカー・ブロック 34.1×15.1×64m	27 m	0 m			

（備考）外形寸法は橋軸直角方向×軸方向×高さ

要旨

吊橋が有する耐震性を検証するには、実験の振動特性を知る必要があり、固有振動数、減衰定数、振動モードを把握することを目的として振動実験を実施した。

実験は、中央径間1/2 および1/4 点の2ヶ所に起振機（水平および鉛直方向加振）をすえて、各種計測器により測定した。

結果

1. 共振曲線

(i) 鉛直加振

比較的良好な共振曲線となり、共振点の抽出は容易である。加振点の位置による相違は大きくない。

(ii) 水平加振

明確な共振曲線は得られなかった。

2. 固有振動数ならびに減衰定数

(i) 設計断面を用いて計算した値（格の鉛直振動）

種別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
振動数	0.30 c/s	0.48 c/s	0.76 c/s	0.77 c/s	0.77 c/s	0.77 c/s	0.77 c/s	0.77 c/s	0.77 c/s	0.77 c/s
減衰	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

(ii) 実験値

加振条件	若松側主塔	中央径間	戸畑側主塔	主塔	主径間補剛桁	径間補剛桁	径間補剛桁	主径間ケーブル	主径間ケーブル
	L	T	L	T	V	T	V	L	V
I	1 0.306	0.351	0.351	0.352	0.351	0.351	0.351	0.352	0.352
	2 0.541	0.520	0.520	0.520	0.519	0.519	0.521	0.521	0.520
	3 -	-	-	-	-	-	-	-	-
	4 1.138	1.107	1.115	1.115	1.101	1.109	1.109	1.115	1.110
	h 0.0069	0.0051	-	0.0051	0.0060	-	0.0055	0.0060	0.0069
II	1 -	-	-	-	-	-	-	-	-
	2 0.375	-	0.365	0.360	0.362	0.363	0.361	0.365	-
	3 0.535	-	0.518	0.520	0.513	0.518	0.522	0.515	0.515
	4 1.150	1.111	1.106	1.114	1.103	1.109	1.084	1.112	1.114
	h 0.0076	-	0.0073	0.0076	0.0086	0.0073	0.0066	0.0073	0.0081
III	1 0.632	0.640	0.640	0.650	0.640	0.635	0.640	0.648	0.650
	2 -	-	-	-	-	-	-	-	-
IV	1 0.570	0.570	0.580	-	0.529	0.564	-	-	0.565
	2 0.655	0.615	0.665	0.642	0.655	0.647	0.600	0.650	0.642
	3 0.705	-	0.705	0.705	0.740	0.702	0.705	0.745	0.705
	4 -	-	-	-	-	-	-	-	-

L: 橋軸方向 V: 鉛直方向 II: 主径間補剛桁1/2点T加振 III: 主径間補剛桁1/4点T加振 IV: 主径間補剛桁1/4点V加振
T: 橋軸直角方向 I: 主径間補剛桁1/2点V加振 II: 主径間補剛桁1/4点V加振 III: 主径間補剛桁1/4点V加振 h: 減衰定数

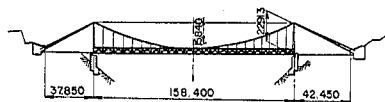
記号の説明 ☆整理番号欄 II: 三径間 H: 2径間 Truss: トラス ☆実験種類欄 P: 実験実験 St: 静的 Sub: 下部 Cab+Sus: ケーブル+吊床部 新測年月日 42年11月1日
例々2-日・C・Truss I: 単径間 C: 連続 Gird: 桁 例M(Dy)-Sub M: 模範試験 Dy: 動的 Sub+Tow: 下部+主塔 Sup: 上部全体 担当: 高安

吊橋の振動実験に関する文献調査

地震応答計算の
有 無

整理番号	橋（架設年月）名	架橋位置（路線・河川）	管理機関	突 災 種 類	実験実施機関	実施年月日	引用文献
162(I・Truss)	二 軒 橋 (1962年)	宮崎県児湯郡(国道219号線) 一ツ瀬川	建設省九州地方建設局	P(D) _{cab} +S _{us}	土木研究所	1962年12月 17日, 18日	15

一 般 図



0.102030m

基礎の状況

一 般 諸 元

上部構造（単径間補剛吊橋）

諸元	主径間長	主塔高	主橋(桁)間隔	橋(桁)高	中央径間サグ	上部総重量
数値	158.4 m	22.913 m	7.0 m	3.5 m	15.84 m	t
下部構造 ()						
諸元	外形寸法	根入れ	水深	設計震度	下部総重量	
メイン・ピア		m	m		t	
ベント・橋脚		m	m		t	
アンカー・ブロック		m	m		t	
(備考)						

要 旨

本実験は吊橋造部およびケーブルの鉛直振動の固有振動数及び減衰定数を求めるため行なったものである。
試験の方法は、床版上にアンカーした起振機を用いて正弦外力を加え、橋梁の各部に展開した加速度計等により応答を測定した。

結 果

固有振動数

- 実験値 1.5%/s 及び 3.4%/s の2つが求められた。
1.5%/s の値は対称1次に対応すると思われる。
- 計算値

i) 逆対称振動

次数	1	2	3
f (c/s)	0.696	2.611	5.799
T (sec)	1.440	0.383	0.171

ii) 対称振動

次数	1	2
f (c/s)	0.614	1.510
T (sec)	1.630	0.662

減 衰 係 数

実験番号 1 起振機 1/2 点
2 2 点
3 3 点

実験 番号	h	κ 2	κ 4	κ 6	κ 8	κ 10	κ 10 L	κ 11	κ 12	κ 14	κ 16	κ 18
1	h1	0.099	0.074	0.072	0.061	0.060	—	0.088	0.054	0.049	0.060	0.070
	h2	0.042	0.024	0.025	0.017	0.044	—	0.035	0.035	0.031	0.029	0.026
2	h1	0.055	0.047	0.046	0.032	0.063	—	—	—	—	—	—
	h2	0.027	0.017	0.052	0.017	0.021	—	0.034	0.027	0.021	0.021	0.017
3	h1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	h2	—	—	—	—	—	0.017	0.017	0.026	0.021	0.017	0.017
	h3	—	—	—	—	—	0.038	0.026	0.015	0.038	0.021	0.021

記号の説明 ☆整理番号例
例 162-III・C・Truss

III: 三径間 H: 2ヒンジ
I: 単径間 C: 連続

Truss: トラス ☆実験種類例
例 M(Dy)-Sub

P: 実験試験 St: 静的
M: 模型試験 Dy: 動的

Sub: 下部
Sub+Tow: 下部+主塔
Cab+Sus: ケーブル及び吊橋造部
Sup: 上部全体

整理年月日 42年11月1日

担当者 高 安

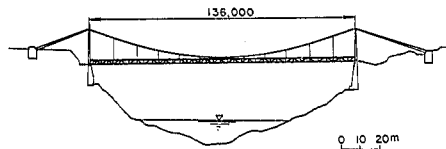
吊橋の振動実験に関する文献調査

地震応答
計算の有無

無

整理番号	橋 (架設年月) 名	架橋位置 (路線・河川)	管理機関	実験種類	実験実施機関	実施年月日	引用文献
№3 (1 Truss)	蘭 原 橋 (1964年)	群馬県・利根郡蘭原・蘭原ダム	建設省関東地方建設局 ニッ瀬ダム管理所	P(D) _{cab} +SLS	土木研究所 関東地建蘭原ダム工務所	1964	13

一般図



基礎の状況

一般諸元

上部構造 (単径間補剛吊橋)

諸元	径間長	主塔高	主橋桁間隔	橋桁高	中央径間サダ	上部総重量
数値	136 m	16.674 m	3.0 m	2.0 m	13.6 m	t

諸元	外形寸法	根入れ	水深	設計震度	下部総重量
メイン・ピア		1.4 m	m	$K_H=0.2$	t
ベント・橋脚		m	m		t
アンカー・					
ブロック					

(備考)

要旨

吊橋の動的安定性を検討する場合に、減衰定数は、固有振動数、振動モードとともに大きな役割をはたすものである。

結果

1. 固有振動数

実測値と理論値

	モード	実測値	理論値
対称	一次	— c/s	0.20 c/s
	二次	1.38	1.30
	三次	3.20	3.42
逆対称	一次	—	0.61
	二次	2.16	2.22

2. 減衰定数

減衰定数 $h = 0.011 \sim 0.031$ である。

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

記号の説明 ☆整理番号欄

Ⅲ：三径間

H：2ヒンジ

Truss：トラス

☆実験種類欄

P：実験試験

St：静的

Sub

Sub+Tow

Cab+Sus

Sub

下部

下部+主塔

ケーブルおよび吊橋造部

上部全体

例：№2-Ⅲ・C・Truss

I：単径間

C：連続

Girder：桁

例：M(Dy)-Sub

M：模型試験

Dy：動的

St：静的

Sub

Sub+Tow

Cab+Sus

Sub

整理年月日 42年11月1日

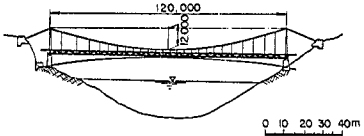
担当者 高安

吊橋の振動実験に関する文献調査

地震応答
計算の有無

無

整理番号	橋 (架設年月) 名	架橋位置 (路線・河川)	管理機関	実験種類	実験実施機関	実施年月日	引用文献
№4 (1・Truss)	大 峰 橋 (1965年)	京都府・宇治市・宇治川	建設省近畿地方建設局 天ヶ瀬ダム管理所	実験 $P(Dy)_{cab+sus}$	土木研究所	1965	13

構 造 物 の 概 要	一般図	実 験 の 概 要	要 旨																			
			実験試験は、その橋がおかれている地理的条件、実験の固有の特性、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ない難い。しかしながら、実験の吊橋には、モデル化できない特性や理論の取扱いにおいても考慮しえない因子が多く、従って上述のような欠点を有しながらも実験は吊橋の特性を探るための有力な方法である。 本実験は吊橋上部構造の固有振動数、減衰定数を求めたものである。																			
	基礎の状況		結 果																			
	一般諸元		1. 固有振動数 実 測 値 と 理 論 値 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">モ - ド</th><th>実 測 値</th><th>理 論 値</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">対 称</td><td>一 次</td><td>0.78c/s</td><td>0.75c/s</td></tr> <tr> <td>二 次</td><td>1.61</td><td>1.50</td></tr> <tr> <td>三 次</td><td>3.83</td><td>3.97</td></tr> <tr> <td rowspan="2">逆 対 称</td><td>一 次</td><td></td><td>0.70</td></tr> <tr> <td>二 次</td><td>2.62</td><td>2.27</td></tr> </tbody> </table> 上記の固有振動数の実測値は共振曲線から求めた理論は、エネルギー法をRitzの方法で解いて求めた。 2. 減衰定数 減衰定数 $h = 0.009 \sim 0.015$ と考えられる。	モ - ド		実 測 値	理 論 値	対 称	一 次	0.78c/s	0.75c/s	二 次	1.61	1.50	三 次	3.83	3.97	逆 対 称	一 次		0.70	二 次
モ - ド		実 測 値	理 論 値																			
対 称	一 次	0.78c/s	0.75c/s																			
	二 次	1.61	1.50																			
	三 次	3.83	3.97																			
逆 対 称	一 次		0.70																			
	二 次	2.62	2.27																			

記号の説明 ☆整理番号欄

Ⅲ：三径間

H：2径間

Truss：トラス

☆実験種類欄

P：実験試験

Sz：静的

Sub：下部

Sub+Tow：下部+主塔

Cab+Sus：ケーブルおよび吊橋造部

Sup：上部全体

例1 2-Ⅲ・C・Truss

I：単径間

C：連続

Girder：桁

例M(Dy)-Sub

M：振動試験

Dy：動的

整理年月日 42年11月1日

担当者 高 安

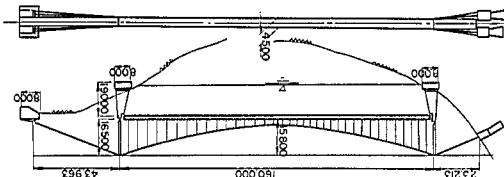
吊橋の振動実験に関する文献調査

地震応答
計算の有無

無

整理番号	橋 (架設年月) 名	架橋位置 (路線・河川)	管理機関	種 類	実験実施機関	実施年月日	引用文献
1/25-(1-Truss)	川 俣 大 橋 (1964年)	栃木県塩谷郡栗山村鬼怒川	建設省関東地方建設局 川俣ダム管理所	P _{St cab} Dy _{4-sus}	建設省土木研究所	S 38.4	1 4

一般図



基礎の状況

一般諸元

上部構造 (単径間補剛吊橋)

諸元	径間長	主塔高	主塔(桁)間隔	桁(桁)高	中央径間サグ	上部総重量
数 値	160m	17m	5.6m	2.75m	15.8m	
下部構造 ()						
諸元	外 形 寸 法	根 入 れ	水 深	設計震度	下部総重量	
右側	メイン・ピア	19.0	— m	m	$K_H=0.2K_V=0.1$	520.037
	ベント・橋脚	—	—	—	—	—
	ギョウタ	—	3.0	—	—	803.85
左側	メイン・ピア	19.0	— m	m	$K_H=0.2K_V=0.1$	520.037
	ベント・橋脚	—	—	—	—	—
	ギョウタ	—	—	—	—	—
(備 考)						

要 旨

本実験は吊橋の吊構造部およびケーブルにおける固有振動特性を求めるために起振機による強制振動や重貨物自動車による衝撃の測定等を行なったものである。

結 果

1. 起振機による強制振動試験

固有振動数

Ⅰ) 鉛直振動

(c/s)

次数	実験値	理論値
1	0.82	0.67
2	1.50	1.45
3	2.25	—

Ⅱ) 橋軸直角方向振動

次数	実験値	理論値
1	1.40	1.45
2	2.40	2.49

2. 重貨物自動車による衝撃試験

減衰定数

加振位置	第1回	第2回	平均
右岸1/4点	0.0194	0.0167	0.0180
// 1/2点	0.0186	0.0253	0.0220
左岸1/4点	0.0194	0.0182	0.0188

記号の説明 ☆整理番号欄

Ⅲ:三径間

H:2ヒンジ

Truss:トラス

☆実験種類欄

P:実験試験

St:静的

Sub:下部

Sub+Tow:下部+主塔

Cab+Sus:ケーブルおよび吊橋構造部

Sup:上部全体

例1/25-Ⅲ・C・Truss

I:単径間

C:連続

Girder:桁

例M(Dy)-Sub

M:模型試験

Dy:動的

Sup:上部全体

Sup:上部全体

整理年月日 42年8月1日

担当 老 永 井

あ　　と　　が　　き

今回、土木研究所資料第 283 号に報告した吊橋主塔の固有振動特性試験につき、吊橋主塔の耐震実験を行ったので、実験 (2) としてとりまとめ報告した。これは吊橋上部構造の耐震実験計画の一部であり、各種実験を逐次本資料として報告して行く予定である。すでに本文中にも指摘したとおり、修正震度法にもとづく耐震設計、地震応答スペクトル曲線による地震応答解析、個々の地震記録を直接用いる模型実験の間には一定の傾向が見られることが明らかになった。これは貴重な事実ではあるが、実験に用いられたデータは、設計および解析の基本となっている平均応答スペクトル曲線を作成する際用いられた地震記録の一部であり、実験結果を設計や解析の結果と比較検討して一定の評価を下すには未だ早急にすぎると思われるので、今後さらにデータを蓄積しさらに多くの実験結果から十分な検討を施した上で現行の耐震設計法をより合理的なものに改善する処置を講じるつもりである。

本資料が本四耐震調査の前進に役立てば幸いである。

昭和 43 年 2 月

耐震調査室 研究員	小 山 田 欣 裕
耐震調査室 研究補助員	若 林 進
"	高 安 栄、 寿
"	永 井 隆

参 考 文 献

- (1) 坪井忠二；新物理学講座B篇，物理学の方法1，単位・次元・模型，1963.9.15，ダイヤモンド社
- (2) 本間 仁，春日屋伸昌；応用数学講座第5巻，次元解析・最小2乗法と実験式，昭和35年11月，コロナ社
- (3) 抜山大三；次元解析の理論と応用，昭和31年4月，共立出版
- (4) 松平 精；基礎振動学，昭和25年，共立出版
- (5) 萩原尊礼；振動測定，昭和35年3月1日，宝文館
- (6) 土木学会；土木技術者のための振動便覧，昭和42年8月20日，技報堂
- (7) 建設省近畿地方建設局，本州四国連絡道路調査事務所；三径間補剛吊橋概略設計々算書L1500M，昭和41年3月
- (8) 建設省土木研究所構造研究室；三径間吊橋の地震応答(案)，昭和40年8月
- (9) 栗林・岩崎・小山田；構造物の地震応答解析法，土木技術資料Vol.8・No.11～Vol.9・No.5，土木研究会
- (10) 建設省土木研究所耐震調査室；土木研究所資料第182号，183号，吊橋上部構造全橋模型による振動実験(A-1，A-2)，昭和41年5月
- (11) 建設省土木研究所耐震調査室；土木研究所資料第283号，吊橋上部構造全橋模型による振動実験B-1，昭和42年5月
- (12) 建設省土木研究所耐震調査室；土木研究所資料第218号，構造物の耐震試験・観測施設要覧，昭和41年12月
- (13) 建設省土木研究所構造研究室；土木研究所資料第264号，菟原橋・大峰橋振動試験報告書，昭和42年3月
- (14) 建設省土木研究所構造研究室；川俣大橋振動試験報告書，昭和39年3月
- (15) 建設省土木研究所構造研究室；越野尾橋振動実験報告書，昭和38年3月
- (16) 建設省土木研究所構造研究室；若戸橋応力試験報告書(動的載荷試験)，昭和38年8月
- (17) 日本道路公団福岡支社；若戸大橋，昭和38年8月
- (18) 日本道路公団福岡支社；若戸橋調査・工事報告書，昭和39年2月
- (19) 土木学会；本州四国連絡橋技術調査第一次報告書，昭和40年5月
- (20) 土木学会；本州四国連絡橋技術調査報告書，同報告書付属資料2(耐震設計指針・同解説および耐震設計詳説)，昭和42年7月
- (21) 建設省土木研究所；土木研究所資料第216号，本州四国連絡架橋調査の概要(土木研究所担当分)，昭和41年10月
- (22) 建設省土木研究所；土木研究所報告128号の1，橋梁の耐震設計に関する研究(I)―地震応答スペクトル・1964，昭和40年10月
- (23) 建設省土木研究所；本四耐震調査報告書No.1，地震荷重に関する調査，吊橋の地震荷重(その一)，地震応答スペクトル，昭和39年9月

- (24) 建設省土木研究所；本四耐震調査報告書 No.2，吊橋の地震荷重（その二），地盤の震度が 0.2 の場合，昭和 39 年 10 月
- (25) 建設省近畿地方建設局，本州四国連絡道路調査事務所；三径間補剛吊橋予備設計々算書 L 1500 M，昭和 40 年 10 月
- (26) 川田忠樹；吊橋の設計と施工，昭和 40 年 11 月，理工図書
- (27) 金井 清，小堀鐸二，蛭田捨太郎；建築学大系 11，地震・振動学，昭和 39 年 4 月，彰国社
- (28) 吉町太郎一；鋼橋の理論と計算，昭和 36 年 4 月，石崎書店
- (29) S. Timoshenko；Vibration Problems in Engineering, 1955, 3rd ed., in collaboration with D. H. Young, D. Van Nostrand Company, Inc., Drinceton
- (30) L. Jacobsen, R. Ayre；Engineering Vibrations with Application to Structures and Machinery, 1958, Mc Graw-Hill Book Co., Inc., New York.
- (31) C. Kuntz, J. Avery, J. Durkee；Suspension Bridge Truss Analysis By Electronic Computer, ASCE., 11, 1958
- (32) Tudor Engineering Co.；Seismic Analysis of the Main Piers For The Tagus River Bridge, 1961
- (33) H. R. Seely；The Delaware Memorial Bridge: planning And Construction, Trans. of ASCE, 1952
- (34) G. S. Vincent；Golden Gate Bridge Vibration Studies, Trans. of ASCE, 1958
- (35) N. C. Raab, H. C. Wood；Earthquake Stresses In The San Francisco-Oakland Bay Bridge, Trans. of ASCE, 1940
- (36) W. Hort；Technische Schwingungslehre, Springer-Verlag OHG, Berlin, 1922
- (37) K. Klotter；Technische Schwingungslehre, Springer-Verlag OHG, Berlin, 1951
- (38) J. P. Den Hartog；Use of Models in Vibration Research, Trans. of ASME, APM-54-14, 1932
- (39) G. Murphy；Similitude in Engineering, the Ronald press Company, New York, 1950
- (40) H. L. Langhaar；Dimensional Analysis and Theory of Models, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1951
- (41) D. S. Garder；Observed Vibrations of Steel Water Towers, Bull. Seismol. Soc. Amer., vol. 26, no. 1, pp. 69 - 88, 1936
；Observed Vibrations of Buildings, Bull. Seismol. Soc. Amer., Vol. 26, No. 3, pp. 245 - 277, 1936
；Observed Vibrations of Bridges, Bull. Seismol. Soc. Amer., Vol. 27, No. 4, pp. 267 - 303, 1937
- (42) D. B. Steinman；A Generalized Deflection Theory for Suspension Bridges, Proc. of ASCE, 1934