194
ISSN 0386—5878
土木研究所資料第2422号

土 木 研 究 所 資 料

2径間連続高架橋に及ぼす入力地震動の影響に関する模型振動実験

昭和62年1月

建 設 省 土 木 研 究 所
地震防災部振動研究室

Copyright ©(1987) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土木研究所資料
第2422号昭和62年1月

2径間連続高架橋に及ぼす入力地震動の影響に関する模型振動実験

振動研究室　室　　長　佐々木　　康
研　究　員　田　村　敬　一
相　沢　　興

要旨：2 径間連続高架橋に及ぼす入力地震動の影響に関する模型振動実験

現行の道路橋示方書によれば，連続橋の耐震計算は，橋全体の構造系を1基の下部構造とそれが支持する上部構造に分割し，それぞれ分割した上部～下部構造ごとに独立に行うものとされている。しかしながら，連続橋全体系としての地震時挙動は，その構造特性上，上述のような単純な構造系の挙動とは異なると考えられる。また，地盤条件の変化部に建設される連続橋等においては，各橋脚ごとに受ける地震動の影響も変化すると考えられる。したがって，連続橋の耐震設計の合理化を図るためには，これら構造特性の影響，また，橋脚ごとに受ける地震動の影響，等を考慮することが必要とされる。

本実験は，上記の点に注目して，2径間連続高架橋模型を用い，正弦波および実測地震波による振動実験を行ったものである。その結果，入力地震動の条件によっては，連続橋の挙動は橋脚単体の挙動と異なる場合のあることが明らかになった。

キーワード：連続橋，耐震設計，入力地震動，模型振動実験

ま　え　が　き

連続橋の耐震設計に関しては，現行の道路橋示方書耐震設計編では特別な規定は設けられておらず，橋全体の構造系を1基の下部構造とそれが支持する上部構造に分割し，それぞれ分割した上部～下部構造ごとに独立に耐震計算を行うものとされている。しかしながら，連続橋全体系としての地震時挙動は，その構造特性上，上述のような単純な構造系の挙動とは異なると考えられる。また，地盤条件の変化部に建設される連続橋等においては，各橋脚ごとに受ける地震の影響も変化すると考えられる。したがって，連続橋の耐震設計の合理化を図るためには，構造特性の影響，また，橋脚ごとに受ける地震動の影響，等を考慮することが必要とされる。

以上のような観点から，本報告は，2径間連続高架橋模型を用いて正弦波および実測地震波による振動実験を行い，橋脚ごとの入力地震動の差異が連続橋の挙動に及ぼす影響，橋脚単体と比較した場合の連続橋の振動特性の特徴，等について検討した結果をとりまとめたものである。

昭和62年1月

建設省土木研究所　地震防災部振動研究室
室　長　佐々木　康
研究員　田村敬一
相沢　興

目　　次

まえがき

1. 実験の概要 …… 1

2. 実験模型 …… 2

3. 実験装置および計測システム …… 6

4. 予備実験 …… 8
   4.1 板ばね定数の検定 …… 8
   4.2 橋脚単体の固有振動数の検定 …… 8
   4.3 ダンパー定数および減衰定数の検定 …… 8
   4.4 共振振動数および減衰定数の算出 …… 9
   4.5 動的ばね定数および動的減衰定数の算出 …… 10

5. 振動実験結果 …… 32
   5.1 実験ケースおよび結果の一覧 …… 32
   5.2 正弦波位相差入力振動実験 …… 33
   5.3 正弦波多点入力振動実験 …… 35
   5.4 地震波入力振動実験 …… 36

6. 結　論 …… 74

参考文献 …… 75

付属資料 1. 実験結果と動的解析結果との比較 …… 77
   2. ひずみから曲げモーメントへの換算方法 …… 93
   3. 振動実験の記録波形例 …… 97
   4. 最大応答値の一覧 …… 123
   5. 模型構造図 …… 143
   6. 実験写真 …… 151

1. 実験の概要

本実験は，2径間連続高架橋模型を用いて，橋脚ごとの地震動の差異が連続橋の挙動に及ぼす影響，橋脚単体と比較した場合の連続橋の振動特性の特徴について検討することを主な目的として実施したものである。実験では3台の振動台上に2径間連続高架橋模型の3橋脚をそれぞれ固定した。振動台は3台同時もしくは個別にランダム波，正弦波，地震波等による加振が可能である。連続橋模型を用いた振動実験は，その加振条件により次の3種類に区分される。

1) 正弦波位相差入力振動実験

同一振幅および同一振動数の正弦波を，その位相を（0，0，0），（$-\pi/2$，0，$\pi/2$）および（$-\pi$，0，π）に変化させて3基の橋脚に入力する。

2) 正弦波多点入力振動実験

同一振幅の正弦波を，その振動数を変化させて3橋脚に入力する。

3) 地震波入力振動実験

同一の実測地震波に位相差を付けて3橋脚に入力する。また，3地点で得られた地震波をそれぞれの橋脚に入力する。

また，本実験では連続橋の振動特性の比較基準とするために，橋脚単体についても上述の1)～3)に応じて，正弦波入力振動実験および地震波入力振動実験を行った。ここで，振動実験の加振方向は，連続橋および橋脚単体のいずれの場合についても橋軸直角方向とした。なお，橋脚単体の振動実験においては，橋脚模型の天端に上部工1径間分の重量に相当するカウンターウェイトを付加することとした。

2. 実 験 模 型

模型の基本諸元および模型化において想定した原型の諸元は表 2.1 に示すとおりである。ここで，原型とした橋梁は模型の諸元を設定するために想定したものであり，実在の橋梁ではないが，その構造の概略は次のとおりである。すなわち，上部構造は幅員構成が 4 車線の連続鈑桁であり，橋脚は高さ 8 mの矩形断面橋脚である。また，基礎は杭基礎である。模型諸元を設定するために想定した相似率は表 2.2 に示すとおりである。表 2.1 に示した模型諸元と原型諸元との関係は，表 2.2 に示した相似率を用いて設定したものである。表 2.1 の模型設計値を基本として，設計および製作した 2 径間連続高架橋模型の一般図および構造図を，それぞれ図 2.1 および付属資料 5 に示す。模型の径間長および橋脚高さは，それぞれ，4 m および70cmである。また，模型の設計および製作上仮定した主要な事項は，次のとおりである。

1) すべての支承は橋軸方向および橋軸直角方向に固定されており，鉛直面内における回転のみを許容するものとする。
2) すべての橋脚の質量および橋軸直角方向剛性は同一とする。
3) 2 径間模型橋の両橋端には隣接する径間の上部構造重量の$\frac{1}{2}$を付加するものとする。
4) 杭基礎の地震時挙動は並進運動が卓越し，これは杭頭の水平ばねによる 1 自由度振動系にモデル化し得るものとする。模型ではこの水平ばねを 2 枚の板ばねとフーチングを組合せたせん断ばね構造として評価する。
5) 模型のフーチングには振動台との相対速度に比例して作用する水平方向ダンパーを設置し，これにより基礎構造系の減衰特性を表現するものとする。

なお，模型各部の重量は表 2.3 に示すとおりである。

表 2.1　模型および模型化において想定した原型の諸元

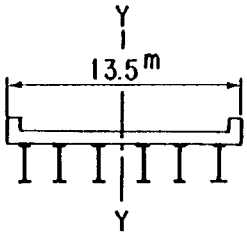
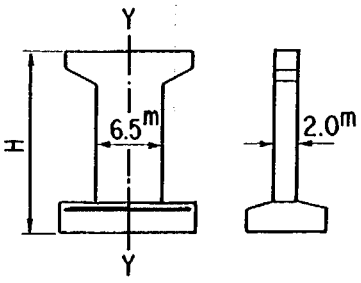
想定した原型の諸元 Q_p	模型目標値 Q_m	模型設計値 q_m	比率 q_m/Q_m
上部工			
			
支間長			
$L = 40$ (m)	$L_m = 4$ (m)	$L = 4$ (m)	1.0
曲げ剛性			
$EI_Y = 1.6 \times 10^8$ (t・m²)	$EI_{Ym} = 1.02 \times 10^9$ (kg・cm²)	$EI = 1.03 \times 10^9$ (kg・cm²)	1.01
($I_Y = 7.4$ (m⁴)) 鋼	($I_{Ym} = 488$ (cm⁴)) 鋼	($I = 490$ (cm⁴)) 鋼	
単位長さ当り重量			
$w = 17$ (t/m)	$w_m = 6.8$ (kg/m)	$w = 7.3$ (kg/m)	1.07
橋脚			
			
橋脚高			
$H = 8$ (m)	$H_m = 0.8$ (m)	$H = 0.78$ (m)	0.98
曲げ剛性			
$EI_Y = 9.6 \times 10^7$ (t・m²)	$EI_{Ym} = 6.14 \times 10^8$ (kg・cm²)	$EI = 5.9 \times 10^8$ (kg・cm²)	0.96
($I_Y = 46$ (m⁴)) コンクリート	($I_{Ym} = 293$ (cm⁴)) 鋼	($I = 281$ (cm⁴)) 鋼	
単位長さ当り重量			
$w = 33$ (t/m)	$w_m = 13.2$ (kg/m)	$w = 12.9$ (kg/m)	0.98
フーチング重量			
$W = 300$ (t)	$W_m = 12$ (kg)	$W = 15.9$ (kg)	1.33
基礎			
杭頭水平ばね定数			
$K_H = 12320$ (t/m)	$K_{Hm} = 79$ (kg/cm)	$K_H = 79.3$ (kg/cm)	1.00

表 2.2　模型の縮尺率

諸　　元	縮尺記号	模型の縮尺率
長　　さ	l^*	10
時　　間	t^*	4
密　　度	ρ^*	25
変　　位	l^*	10
速　　度	$l^* \cdot t^{*-1}$	2.5
加　速　度	$l^* \cdot t^{*-2}$	0.625
周　　期	t^*	4
振　動　数	t^{*-1}	0.25
質　　量	$\rho^* \cdot l^{*3}$	25000
単位長さ当りの重量	$\rho^* \cdot l^{*2}$	2500
力	$\rho^* \cdot l^{*4} \cdot t^{*-2}$	15625
曲げモーメント	$\rho^* \cdot l^{*5} \cdot t^{*-2}$	156250
曲　げ　剛　性	$\rho^* \cdot l^{*6} \cdot t^{*-2}$	1562500
ば　ね　定　数	$\rho^* \cdot l^{*3} \cdot t^{*-2}$	1562.5
回　転　ば　ね	$\rho^* \cdot l^{*5} \cdot t^{*-2}$	156250

表 2.3　模型各部の重量

名　　称	重　　量 (kg)
板　ば　ね（1枚）	12.55
フ　ー　チ　ン　グ	16.35
橋　　脚	15.75
桁　　（1径間）	23.00
カウンターウェイト	13.11

注）カウンターウェイトは，桁重量の概ね½を想定。

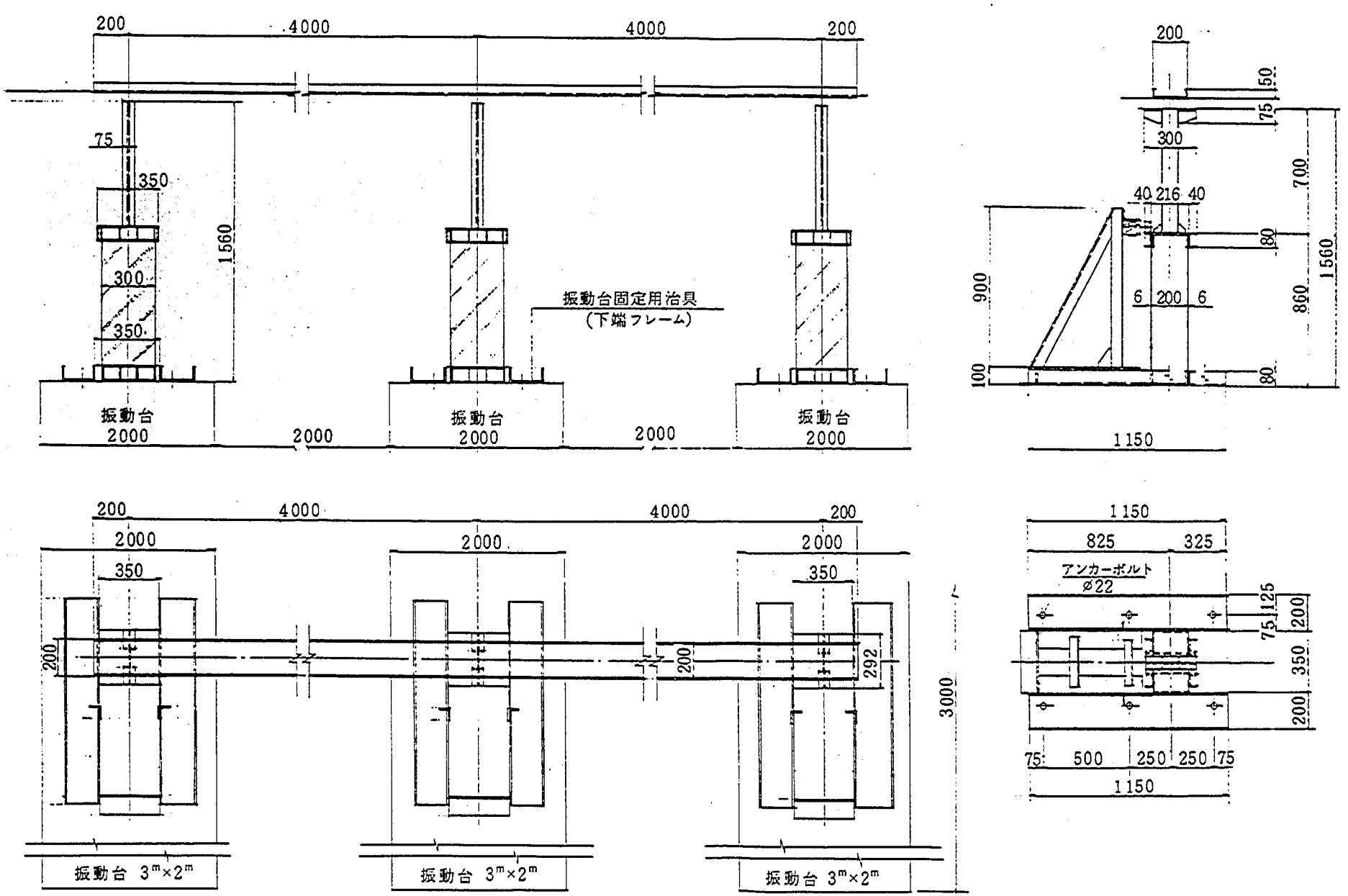


図 2.1　連続高架橋模型一般図

3. 実験装置および計測システム

振動実験では，図3.1に示すように，3台の振動台上に2径間連続橋の3橋脚をそれぞれ固定した。実験に使用した振動台は，テーブル寸法が2m×3mの中型振動台であり，その主要な仕様は表3.1に示すとおりである。また，本振動台は3台同時もしくは個別に制御することが可能である。

振動実験時における計測器の配置およびデータの収録システムは，それぞれ，図3.2および図3.3に示すとおりである。主な計測項目は，振動台および模型各部の加速度，橋脚基部および板ばねのひずみ，振動台の変位である。計測項目の合計は25成分であり，データはすべて200 Hzサンプリングでディジタルデータレコーダに収録した。

表3.1　中型振動台の主要仕様

振動台寸法	2m×3m
最大載荷重量	25 ton/基
最大転倒モーメント	37 ton・m
最大加振力	25 ton/基
最大変位	±75 mm
最大速度	±60cm/sec
最大加速度	±700 gal：最大載荷時，±2500 gal：無載荷時
加振方式	水平1軸加振
駆動方式	電気油圧サーボ方式
制御方式	アナログ制御，ディジタル制御
加振波形	正弦波，三角波，矩形波，ランダム波，地震波
周波数自動掃引	変位一定加振，速度一定加振，加速度一定加振
周波数範囲	DC～50Hz

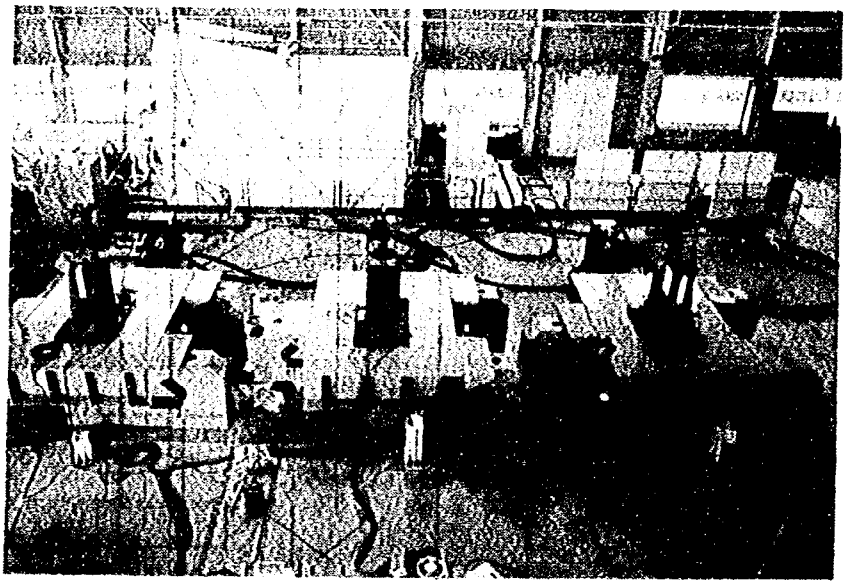


図3.1　実験の概要

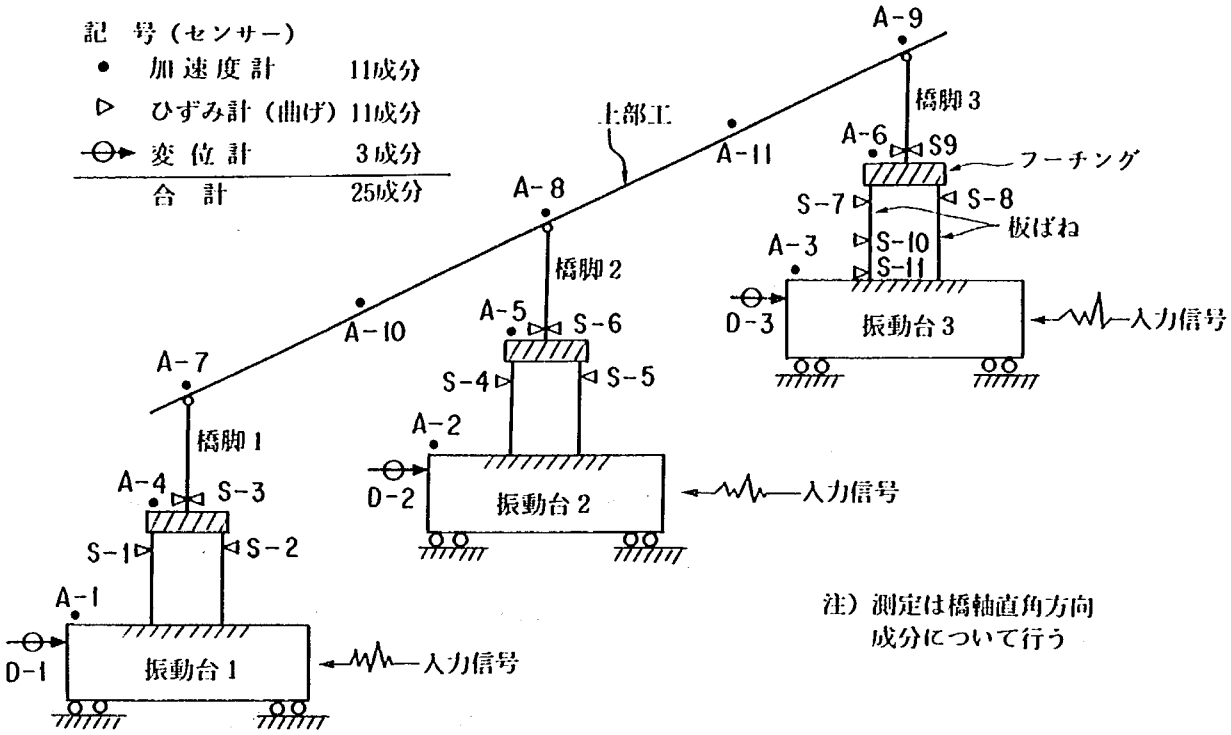


図3.2 計測器の配置

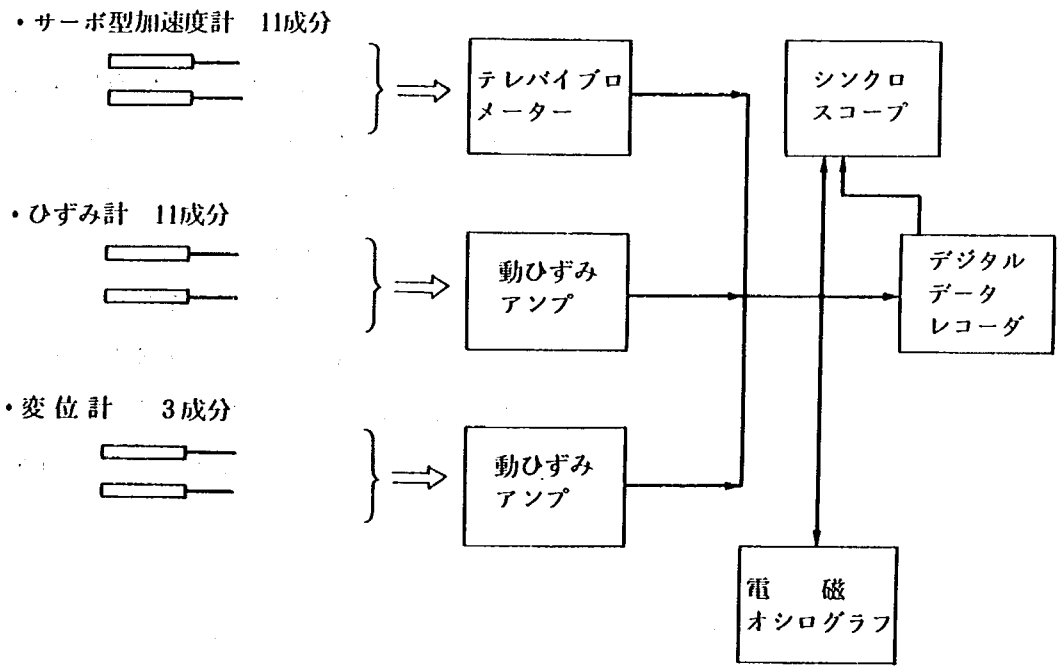


図3.3 データ収録システム

4. 予 備 実 験

4.1 板ばね定数の検定

図4.1に示すように，シャコ万力のストロークを利用してフーチング天端に水平荷重を作用させ，ダイヤルゲージを用いてフーチング天端の変位を測定し，荷重－変位曲線より板ばね（2枚当り）のばね定数を求める。なお，ここで，測定の対象とする構造系は，板ばね＋フーチングおよび板ばね＋フーチング＋橋脚＋カウンターウェイト（2個）の2系とする。測定結果を表4.1～表4.2および図4.2～図4.3に示す。また，これらの結果より板ばねのばね定数を求めると，表4.3のようになる。板ばね（2枚当り）のばね定数は，概ね70 kg/cm程度であり，橋脚およびカウンターウェイトが付加される場合の方がばね定数が若干大きいことがわかる。

4.2 橋脚単体の固有振動数の検定

図4.4に示すように，フーチング上にサーボ型加速度計を設置し，フーチングの自由振動波形より固有振動数を求める。なお，測定の対象とする構造系は，板ばね＋フーチングおよび板ばね＋フーチング＋橋脚＋カウンターウェイト（2個）の2系とする。自由振動波形の例を図4.5に示す。また，これらより固有振動を求めると，表4.4のようになる。

次に，各構造系の振動を1自由系の振動とみなせば，その有効重量Wは固有振動数f_0および板ばね定数k（4.1節参照）から以下のように求められる。

$$W = \frac{k\,g}{(2\,\pi\,f_0)^2} \qquad \cdots\cdots (4.1)$$

ここで，gは重力加速度である。表4.3および表4.4に示した板ばね定数および固有振動数から有効重量を求めると，表4.5のようになる。また，模型各部の重量は表4.6に示すとおりである。表4.6と表4.5を比較すると，板ばね＋フーチングおよび板ばね＋フーチング＋橋脚＋カウンターウェイトのいずれの構造系についても板ばねの重量を評価しない場合には重量は有効重量よりも過小となることがわかる。そこで，板ばね重量の$\frac{1}{2}$（板ばね1枚分）を評価することにすると，重量は各構造系について，12.55 ＋ 16.35 ＝ 28.90〔kg〕，12.55 ＋ 16.35 ＋ 18.87 ＋ 26.22 ＝ 73.99〔kg〕となり，表4.5に示した有効重量と比較的よく一致することがわかる。ただし，連続橋全体系のうちの1橋脚に注目する場合は，カウンターウェイト固定用シャコ万力の重量が含まれないため，12.55＋16.35＋15.75＋26.22 ＝ 70.87〔kg〕となる。

4.3 ダンパー定数および減衰定数の検定

図4.6に示すように，ダンパーに重錘を取り付け，重錘を自由落下させる。重錘の重量をw（＝1.87〔kg〕），落下速度が一定になった時の速度をvとすれば，ダンパーの減衰係数cは次のように求められる。

$$c = \frac{w}{v} \quad \cdots\cdots (4.2)$$

また，系の重量およびばね定数を，それぞれ W および k とすれば，減衰定数 h は次式で求められる。

$$h = \frac{c}{2\sqrt{\frac{Wk}{g}}} \quad \cdots\cdots (4.3)$$

ただし，ここで系の重量は，4.2 節の検討結果に基づく，板ばね＋フーチング＋橋脚＋カウンターウェイト系の 70.87〔kg〕とする。また，本検定は橋脚単体および連続橋のそれぞれの振動実験の前後について行った。重錘の落下速度の読み取り例および減衰係数の算出結果を，それぞれ，図 4.7 および表 4.7 に示す。表 4.7 より減衰係数は 3.1 ～ 4.1〔kg s/cm〕程度，減衰定数は 0.67 ～ 0.90 程度となっていることがわかる。

4.4　共振振動数および減衰定数の算出

ランダム波による加振実験を行い，橋脚単体および連続橋の両者について伝達関数より共振振動数および減衰定数を算出する。ここで，連続橋の場合には，3 橋脚すべてにランダム波を入力する。なお，橋脚単体の伝達関数は，後述する動的ばね定数および動的減衰係数の検定においても使用する。

伝達関数 $H(f)$ は，次式に示すように，入力と応答のクロススペクトル $S_{io}(f)$ を入力のパワースペクトル $S_{ii}(f)$ で除して定義する。

$$H(f) = \frac{S_{io}(f)}{S_{ii}(f)} \quad \cdots\cdots (4.4)$$

ここで，$S_{io}(f)$ および $S_{ii}(f)$ には Hamming ウインドー[1]を 2 回かけるものとした。共振振動数は，伝達関数が最大応答倍率 M_p をとる振動数とし，また，減衰定数 h は，構造系を 1 自由度系と仮定して，次式より求める。

$$h = \frac{1}{2M_p} \quad \cdots\cdots (4.5)$$

橋脚単体および連続橋について求めた伝達関数を，それぞれ，図 4.8 および図 4.9 ～図 4.11 に示す。また，これらの結果から算出した共振振動数および減衰定数の一覧を表 4.8 に示す。表 4.8 より，共振振動数および減衰定数とも橋脚単体と連続橋の間では顕著な差異は認められず，それぞれ，5.8 ～ 5.9 Hz および 0.2 ～ 0.25 程度であることがわかる。ただし，共振振動数については，連続橋の方が橋脚単体よりも僅かに高くなる傾向が認められる。

次に，各計測点における伝達関数を用いて，連続橋の振動モードを算出する。すなわち，いま，計測点 j を基準とし，j 点の応答が最大となる時刻 t_j の時の計測点 i における応答 A_i を求めることにする。計測点 i の最大応答倍率を $M_{p,i}$，i 点と j 点の位相差を δ_{ij} とすれば，A_i は次のように求められる。

$$A_i = M_{p,i} \sin(2\pi f t_j - \delta_{ij}) \quad \cdots\cdots \quad (4.6)$$

$$\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j \quad \cdots\cdots \quad (4.7)$$

式（4.6）中の f は系の振動数であり，t_j は，その定義上，次のように表される。

$$t_j = \frac{1}{4f} \quad \cdots\cdots \quad (4.8)$$

式（4.8）を式（4.6）に代入すると，次のようになる。

$$A_i = M_{p,i} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \delta_{ij}\right) \quad \cdots\cdots \quad (4.9)$$

図4.9に示した伝達関数より，各計測点の最大応答倍率および位相を求めると，表4.9のようになる。ただし，ここで，A－2点およびA－3点については図4.12に示す振動台間の伝達関数より連続橋の共振振動数5.9 Hz付近における応答倍率および位相を読み取ったものである。表4.9によれば，A－4点からA－11点については，A－1点に対して概む60°程度の位相遅れを示すので，以降の解析においては簡単のために，位相遅れを一律60°（$=\pi/3$）とすることにする。したがって，基準点を橋脚1のフーチング上の計測点（A－4点）にとれば，各計測点のA－4点に対する位相差 δ_{ij} は次のようになる。

$$\delta_{ij} = \begin{cases} -\pi/3 & \text{A}-1 \sim \text{A}-3 \\ 0 & \text{A}-4 \sim \text{A}-11 \end{cases} \quad \cdots\cdots \quad (4.10)$$

式（4.10）を式（4.9）に代入して各計測点の応答 A_i を求めた結果を表4.9に示す。また，その結果を図示すると，図4.13のようになる。図4.13からわかるように，1次モードは3基の橋脚とも板ばねが同一方向に変位するモードである。

4.5 動的ばね定数および動的減衰定数の算出

いま，図4.14に示すように質量 m，減衰係数 c，ばね定数 k を有する1自由度系が地動変位 ϕ を受けるものとすれば，その運動方程式は次のように表される。

$$m\ddot{z} + c\dot{x} + kx = 0 \quad \cdots\cdots \quad (4.11)$$

ここで，z および x は，それぞれ，質点の絶対変位および相対変位であり，z と x の関係は次式で表される。

$$x = z - \phi \quad \cdots\cdots \quad (4.12)$$

式（4.12）を式（4.11）に代入すると，次のようになる。

$$c(\dot{z} - \dot{\phi}) + k(z - \phi) = -m\ddot{z} \quad \cdots\cdots \quad (4.13)$$

ここで，$z = z_0 e^{i(\omega t - \alpha)}$，$\phi = \phi_0 e^{i(\omega t - \beta)}$ とすれば，上式は次のように変形される。

$$i\omega c\ (z_0 e^{-i\alpha} - \phi_0 e^{-i\beta}) + k\ (z_0 e^{-i\alpha} - \phi_0 e^{-i\beta}) = m\, z_0 \omega^2 e^{-i\alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.14)$$

$$i\omega c \left\{ \frac{z_0}{\phi_0} e^{-i(\alpha-\beta)} - 1 \right\} + k \left\{ \frac{z_0}{\phi_0} e^{-i(\alpha-\beta)} - 1 \right\} = m\omega^2 \frac{z_0}{\phi_0} e^{-i(\alpha-\beta)} \quad \cdots\cdots (4.15)$$

さらに，次式で定義される伝達関数 λ を導入する。

$$\lambda = \frac{z_0}{\phi_0} e^{-i(\alpha-\beta)} = \frac{\ddot{z}}{\ddot{\phi}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.16)$$

式（4.16）を式（4.15）に代入して，整理すると，次のようになる。

$$i\omega c + k = m\omega^2 \frac{\lambda}{\lambda - 1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.17)$$

したがって，上式の実部および虚部より振動数に依存した動的ばね定数および動的減衰係数が求められることになる。

本検定では，以上の手法を用いて，橋脚単体のランダム波加振による伝達関数より動的ばね定数および動的減衰係数を求めることにする。また，動的減衰係数から動的減衰定数への変換は式（4.3）によるものとし，その際の重量としては，板ばね重量の $\frac{1}{2}$ を見込んだ 73.99〔kg〕とする。計算に使用した伝達関数は図 4.8 に示すとおりである。図 4.8 より動的ばね定数，動的減衰係数および動的減衰定数を求めると，図 4.15 ～図 4.17 のようになる。これらの結果より次の事項が指摘される。

1) 動的ばね定数は，2 Hz 程度以下の領域を除けば，静的ばね定数よりも大きく，振動数の増加に伴い増加する。

2) 1)とは反対に，動的減衰係数は一般に静的減衰係数よりも小さく，振動数の増加に伴い減少する。

表 4.1　荷重と変位の関係（板ばね＋フーチング系）

(a)　橋脚 1

荷　重 (kg)	フーチング変位 (mm)	
	1 回目	2 回目
0	0.0	0.0
5	0.7	0.62
10	1.39	1.37
15	2.09	2.12
20	2.77	2.76
25	3.52	3.51
30	4.26	4.25
25	3.51	3.51
20	2.81	2.81
15	2.13	2.13
10	1.39	1.38
5	0.75	0.75
0	0.00	0.00

(b)　橋脚 2

荷　重 (kg)	フーチング変位 (mm)	
	1 回目	2 回目
0	0.00	0.00
5	0.75	0.75
10	1.43	1.40
15	2.14	2.15
20	2.77	2.77
25	3.52	3.52
30	4.26	4.26
25	3.51	3.60
20	2.88	2.87
15	2.14	2.13
10	1.51	1.50
5	0.75	0.75
0	0.01	0.00

(c)　橋脚 3

荷　重 (kg)	フーチング変位 (mm)	
	1 回目	2 回目
0	0.01	0.01
5	0.68	0.74
10	1.37	1.44
15	2.01	2.10
20	2.66	2.76
25	3.30	3.40
30	3.92	4.04
25	3.28	3.40
20	2.75	2.76
15	2.12	2.10
10	1.48	1.48
5	0.73	0.74
0	0.20	0.00

表 4.2　荷重と変位の関係（板ばね＋フーチング＋橋脚＋カウンターウェイト系）

(a)　橋脚 1

荷　重 (kg)	フーチング変位 (mm)	
	1 回目	2 回目
0	0.00	0.00
5	0.83	0.63
10	1.30	1.36
15	2.01	2.01
20	2.75	2.75
25	3.49	3.49
30	4.12	4.12
25	3.59	3.59
20	2.86	2.86
15	2.12	2.12
10	1.48	1.37
5	0.74	0.74
0	0.10	0.01

(b)　橋脚 2

荷　重 (kg)	フーチング変位 (mm)	
	1 回目	2 回目
0	0.00	0.00
5	0.69	0.63
10	1.39	1.38
15	2.04	2.01
20	2.67	2.79
25	3.51	3.50
30	4.14	4.14
25	3.50	3.52
20	2.91	2.84
15	2.09	2.12
10	1.37	1.38
5	0.63	0.75
0	0.01	0.01

(c)　橋脚 3

荷　重 (kg)	フーチング変位 (mm)	
	1 回目	2 回目
0	0.00	0.00
5	0.67	0.67
10	1.33	1.41
15	1.95	1.98
20	2.58	2.59
25	3.34	3.23
30	4.08	4.08
25	3.40	3.44
20	2.70	2.71
15	2.05	2.06
10	1.41	1.42
5	0.75	0.79
0	0.08	0.07

表 4.3　板ばね定数の一覧（板ばね 2 枚当り，単位：kg/cm）

構　造　系	橋脚 1	橋脚 2	橋脚 3	平　均
板ばね＋フーチング	70.5	70.4	(75.4)	70.5
板ばね＋フーチング＋橋脚＋カウンターウェイト	72.8	72.5	73.5	72.9

注）　（　）は平均に含まない。

表 4.4　固有振動数の一覧（単位：Hz）

構　造　系	橋脚 1	橋脚 2	橋脚 3	平　均
板ばね＋フーチング	8.40	8.37	8.33	8.36
板ばね＋フーチング＋橋脚＋カウンターウェイト	4.98	4.99	4.95	4.97

表 4.5　有効重量の算出

構　造　系	固有振動数 f_0〔Hz〕	ばね定数 k〔kg/cm〕	有効重量 W〔kg〕
板ばね＋フーチング	8.36	70.5	25.0
板ばね＋フーチング＋橋脚＋カウンターウェイト	4.97	72.9	73.2

表 4.6　模型各部の重量

名　称	重　量〔kg〕
板ばね（1 枚）	12.55
フーチング	16.35
小　計	28.90
橋　脚	15.75（18.87）
カウンターウェイト（2 個）	26.22
合　計	70.87（73.99）

注）（　）はカウンターウェイト固定用のシャコ万力を含む。

表 4.7(1) ダンパー検定結果の一覧

(a) 橋脚 1

項目		加振実験前			加振実験後		
		1 回目	2 回目	3 回目	1 回目	2 回目	3 回目
橋脚単体	変位 d (cm)	0.868	0.855	1.006	0.828	0.612	0.713
	時間 T (sec)	1.440	1.380	1.650	1.500	1.080	1.260
	速度 $v=d/T$ (cm/s)	0.603	0.620	0.610	0.552	0.567	0.566
	減衰係数 $c=w/v$ (kg s/cm)	3.099	3.015	3.063	3.384	3.296	3.301
	減衰定数 $h=c/2\sqrt{Mk}$	0.675	0.657	0.667	0.737	0.718	0.719
	平均減衰係数 $\bar{c}$	3.06 (気温：4℃～7℃)			3.33 (気温：6℃)		
	平均減衰定数 $\bar{h}$	0.67			0.73		
連続橋	変位 d (cm)	1.013	1.013	0.900	0.957	1.167	1.014
	時間 T (sec)	2.280	2.250	1.950	1.824	2.232	1.944
	速度 $v=d/T$ (cm/s)	0.444	0.450	0.462	0.525	0.523	0.522
	減衰係数 $c=w/v$ (kg s/cm)	4.204	4.149	4.047	3.560	3.572	3.581
	減衰定数 $h=c/2\sqrt{Mk}$	0.915	0.903	0.881	0.775	0.778	0.780
	平均減衰係数 $\bar{c}$	4.13 (気温：6℃)			3.57 (気温：5℃)		
	平均減衰定数 $\bar{h}$	0.90			0.78		

注) $w=1.87$ (kg)　$M=70.87/9.8$ (kg s/m)　$k=72.9$ (kg/cm)

(b) 橋脚 2

項目		加振実験前			加振実験後		
		1 回目	2 回目	3 回目	1 回目	2 回目	3 回目
橋脚単体	変位 d (cm)	0.704	0.881	0.843	0.958	0.637	0.764
	時間 T (sec)	1.260	1.440	1.320	1.824	1.200	1.410
	速度 $v=d/T$ (cm/s)	0.559	0.612	0.639	0.525	0.531	0.542
	減衰係数 $c=w/v$ (kg s/cm)	3.343	3.053	2.925	3.556	3.519	3.447
	減衰定数 $h=c/2\sqrt{Mk}$	0.728	0.665	0.637	0.774	0.766	0.751
	平均減衰係数 $\bar{c}$	3.11 (気温：4℃～7℃)			3.51 (気温：6℃)		
	平均減衰定数 $\bar{h}$	0.68			0.76		
連続橋	変位 d (cm)	1.000	1.025	1.025	0.751	0.756	0.718
	時間 T (sec)	1.680	1.620	1.710	1.284	1.272	1.200
	速度 $v=d/T$ (cm/s)	0.595	0.633	0.599	0.585	0.594	0.598
	減衰係数 $c=w/v$ (kg s/cm)	3.138	2.952	3.116	3.193	3.143	3.122
	減衰定数 $h=c/2\sqrt{Mk}$	0.683	0.643	0.679	0.695	0.684	0.680
	平均減衰係数 $\bar{c}$	3.07 (気温：6℃)			3.15 (気温：5℃)		
	平均減衰定数 $\bar{h}$	0.67			0.69		

表 4.7(2) ダンパー検定結果の一覧

(c) 橋脚 3

項目		加振実験前			加振実験後		
		1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目
橋脚単体	変位 d (cm)	0.893	0.855	0.805	1.019	0.764	0.522
	時間 T (sec)	1.470	1.500	1.560	2.040	1.590	1.020
	速度 $v=d/T$ (cm/s)	0.607	0.570	0.516	0.500	0.481	0.512
	減衰係数 $c=w/v$ (kg s/cm)	3.075	3.277	3.620	3.739	3.887	3.650
	減衰定数 $h=c/2\sqrt{Mk}$	0.670	0.714	0.788	0.814	0.847	0.795
	平均減衰係数 $\bar{c}$	3.32 (気温 4℃～7℃)			3.76 (気温：6℃)		
	平均減衰定数 $\bar{h}$	0.72			0.82		
連続橋	変位 d (cm)	0.950	0.900	0.975	0.789	0.699	0.794
	時間 T (sec)	1.950	1.800	1.920	1.608	1.416	1.584
	速度 $v=d/T$ (cm/s)	0.487	0.500	0.508	0.491	0.494	0.501
	減衰係数 $c=w/v$ (kg s/cm)	3.834	3.736	3.678	3.807	3.784	3.726
	減衰定数 $h=c/2\sqrt{Mk}$	0.835	0.814	0.801	0.829	0.824	0.811
	平均減衰係数 $\bar{c}$	3.75 (気温：6℃)			3.77 (気温：5℃)		
	平均減衰定数 $\bar{h}$	0.82			0.82		

表 4.8 ランダム波振動実験による固有振動数および減衰定数の一覧

(a) 橋脚単体

	共振振動数 f_p (Hz)	最大応答倍率 M_p	減衰定数 h	固有振動数注) f_0 (Hz)
橋脚 1	5.90	2.50	0.20	6.64
橋脚 2	5.84	1.95	0.26	7.25
橋脚 3	5.76	2.13	0.23	7.28

注) 位相遅れが90°となる振動数

(b) 連続橋

計測点	振動台1を基準とした場合				振動台2を基準とした場合				振動台3を基準とした場合			
	f_p (Hz)	M_p	h	f_0 (Hz)	f_p (Hz)	M_p	h	f_0 (Hz)	f_p (Hz)	M_p	h	f_0 (Hz)
橋脚1，フーチング	5.90	2.33	0.22	6.90	5.92	2.39	0.21	7.28	5.92	2.54	0.20	7.20
橋脚2，フーチング	5.95	2.23	0.23	6.64	5.76	2.15	0.23	6.88	6.00	2.40	0.21	6.85
橋脚3，フーチング	5.92	1.85	0.27	7.04	5.76	1.87	0.27	7.44	5.76	1.98	0.25	7.44
橋脚1，橋脚天端	5.92	2.40	0.21	6.96	5.82	2.44	0.20	7.20	5.95	2.13	0.23	7.28
橋脚2，橋脚天端	5.92	2.35	0.21	6.64	5.84	2.38	0 21	6.96	5.92	2.53	0.20	6.96
橋脚3，橋脚天端	5.84	2.03	0.25	7.05	5.76	2.08	0.24	7.60	5.76	2.22	0.23	7.68
上部工，橋脚1および2の中間点	5.79	2.00	0.25	6.72	5.79	2.00	0.25	7.04	5.81	2.10	0.24	7.20
上部工，橋脚2および3の中間点	6.08	2.28	0.22	6.88	5.84	2.30	0.23	7.02	6.00	2.40	0.21	7.36

表 4.9　1次振動モード値

計測点	最大応答倍率 $M_{p,i}$	位相差 δ_i (度)	A－4最大応答時振動モード
A－1	1.00	0°	0.50
A－2	1.00	0°	0.50
A－3	0.90	0°	0.45
A－4	2.33	60°	2.33
A－5	2.23	64°	2.23
A－6	1.85	60°	1.85
A－7	2.40	60°	2.40
A－8	2.35	65°	2.35
A－9	2.03	57°	2.03
A－10	2.00	65°	2.00
A－11	2.28	66°	2.28

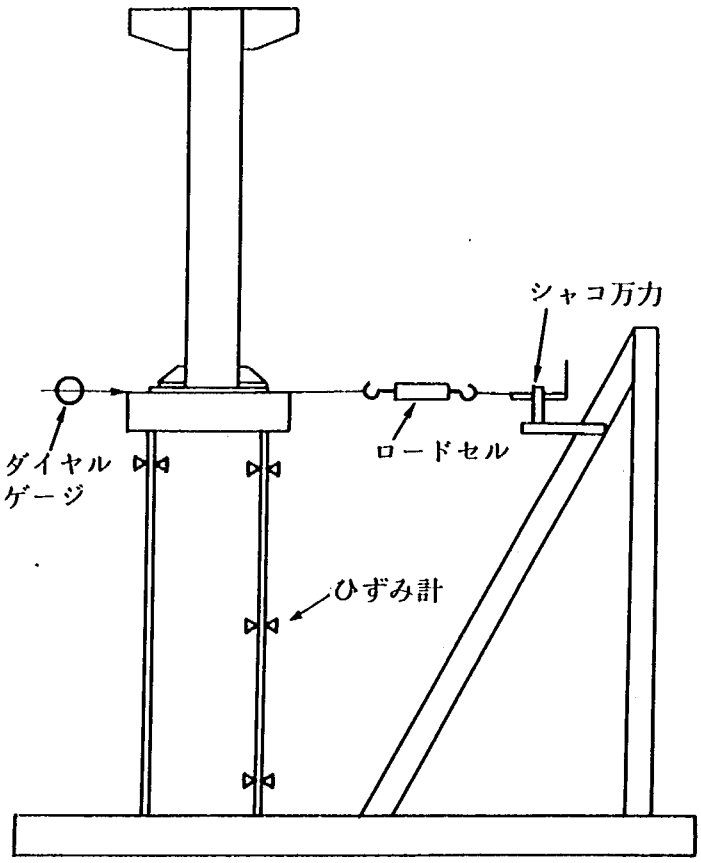
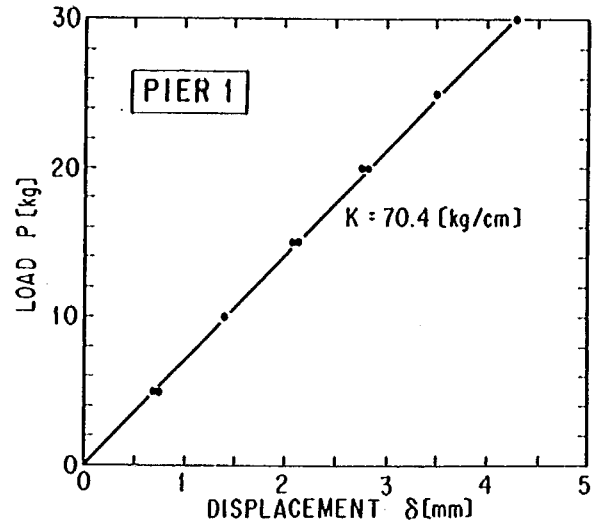
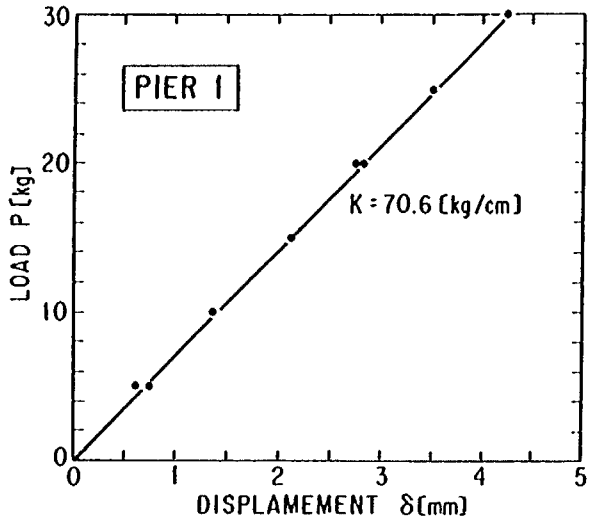


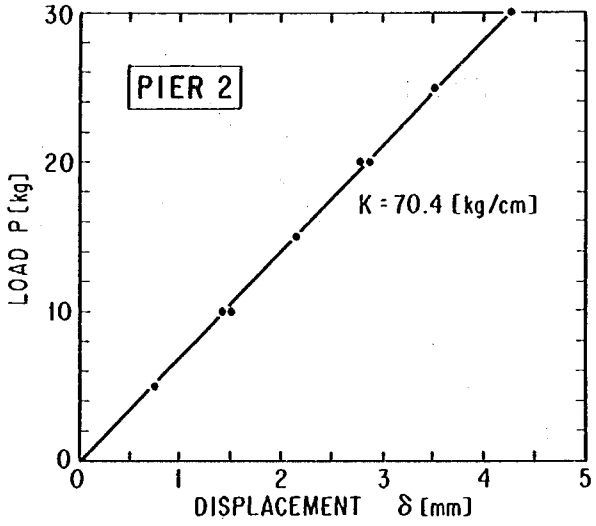
図 4.1　板ばね定数の検定



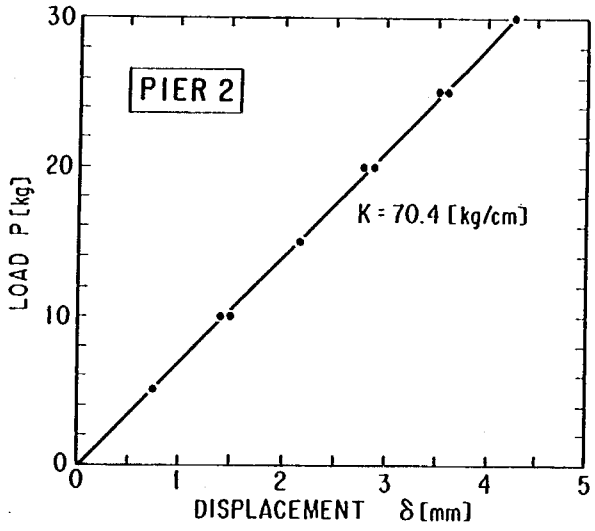
(a) 橋脚1，1回目



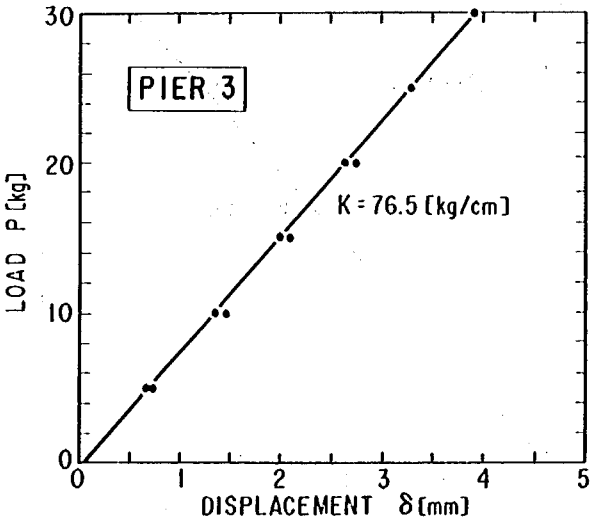
(b) 橋脚1，2回目



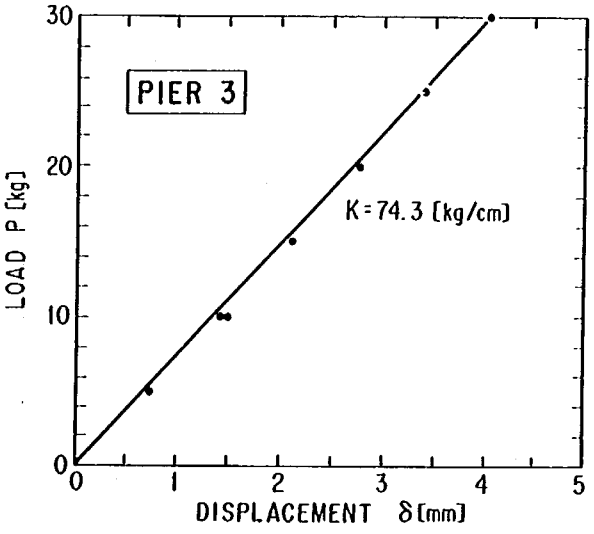
(c) 橋脚2，1回目



(d) 橋脚2，2回目

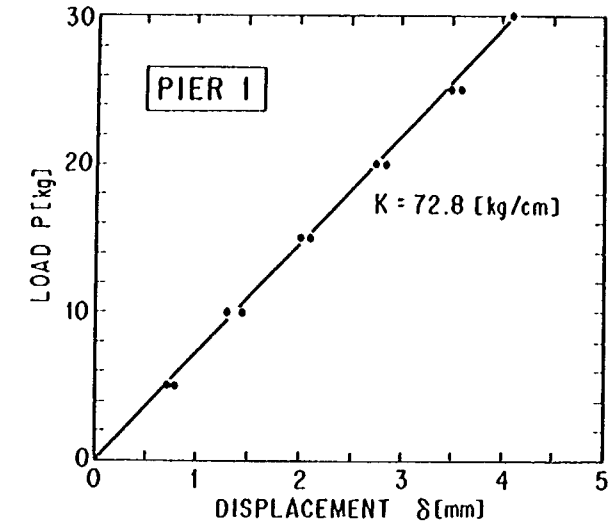


(e) 橋脚3，1回目

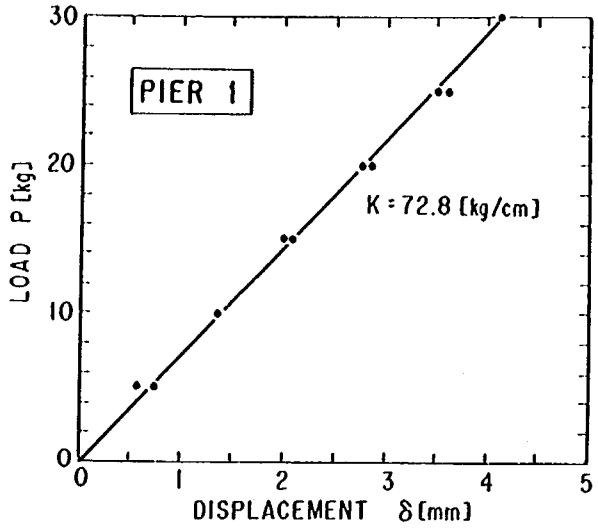


(f) 橋脚3，2回目

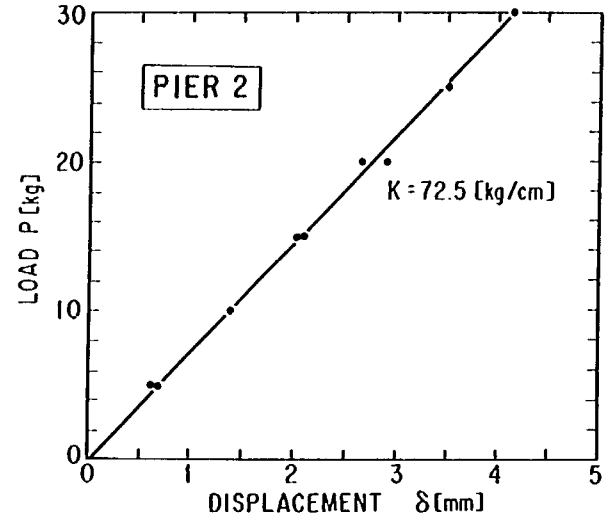
図 4.2　荷重 ― 変位曲線（板ばね＋フーチング系）



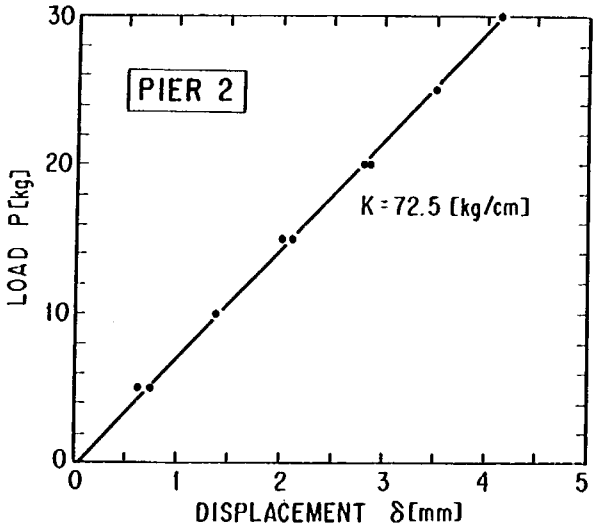
(a) 橋脚1，1回目



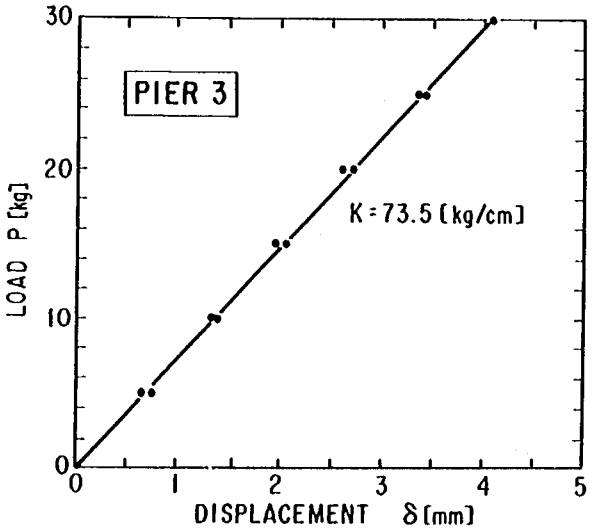
(b) 橋脚1，2回目



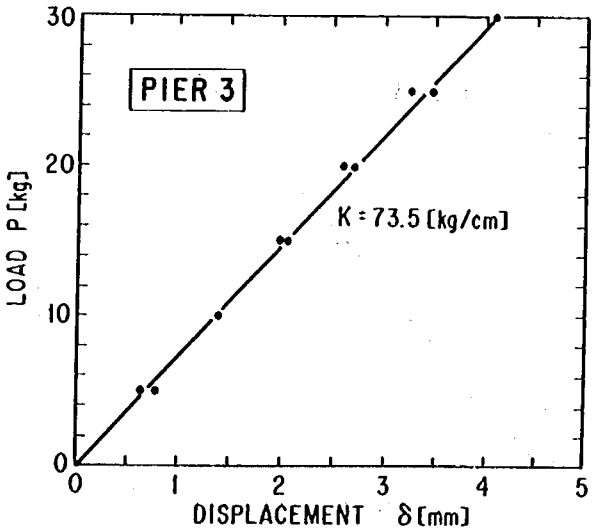
(c) 橋脚2，1回目



(d) 橋脚2，2回目



(e) 橋脚3，1回目



(f) 橋脚3，2回目

図 4.3　荷重 ― 変位曲線（板ばね＋フーチング＋橋脚＋カウンターウェイト系）

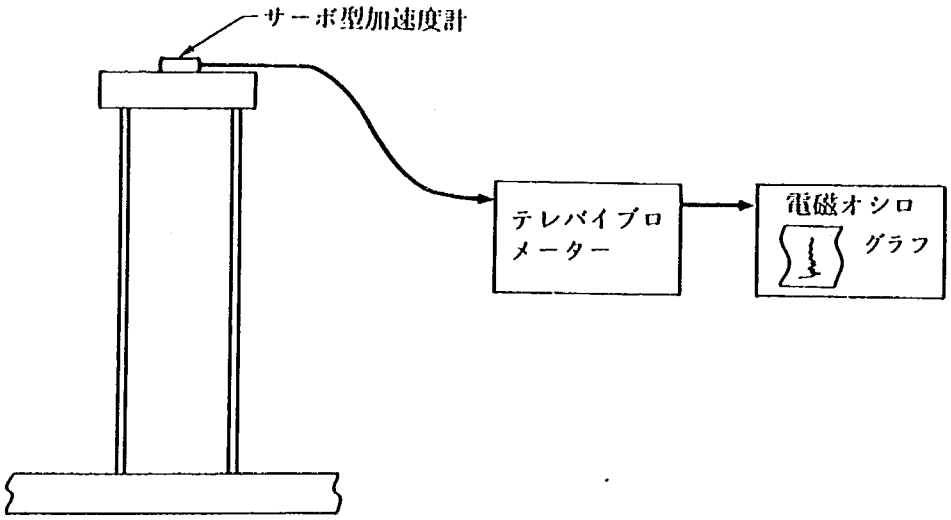
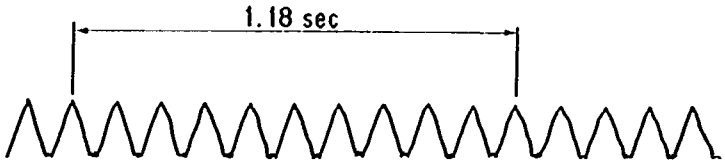
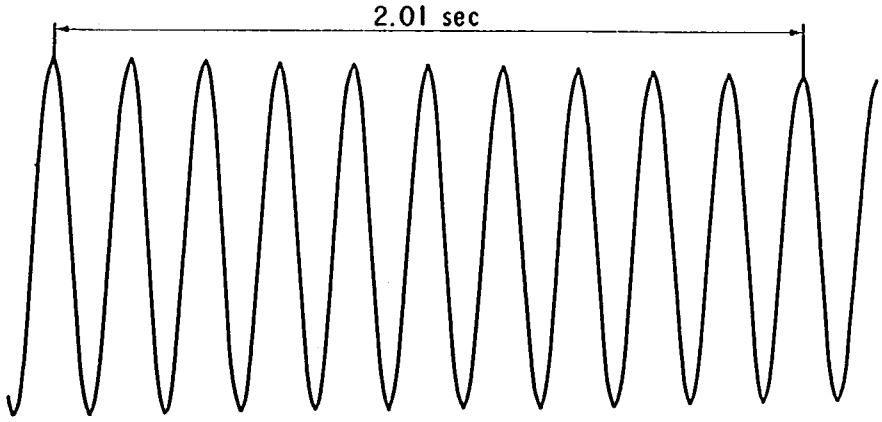


図 4.4　固有振動数の検定



(a)　板ばね＋フーチング系



(b)　板ばね＋フーチング＋橋脚＋カウンターウェイト系

図 4.5　自由振動波形の例

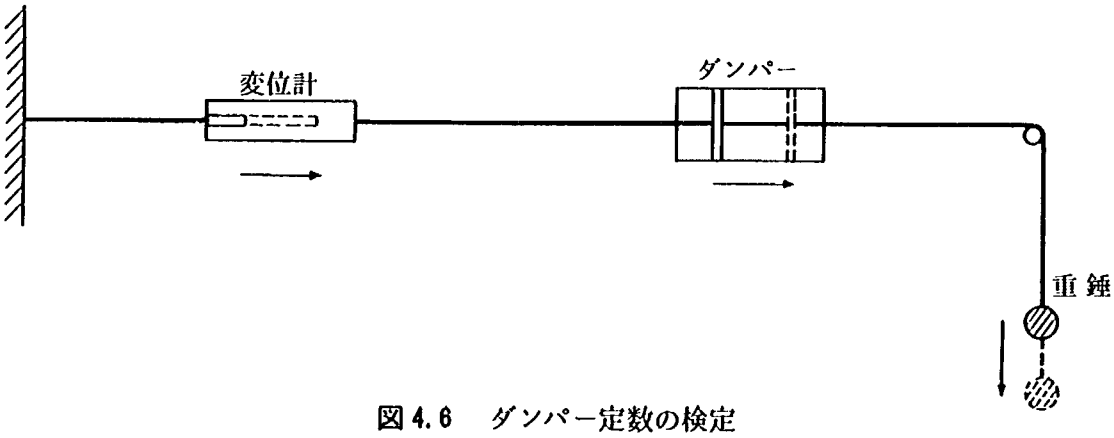
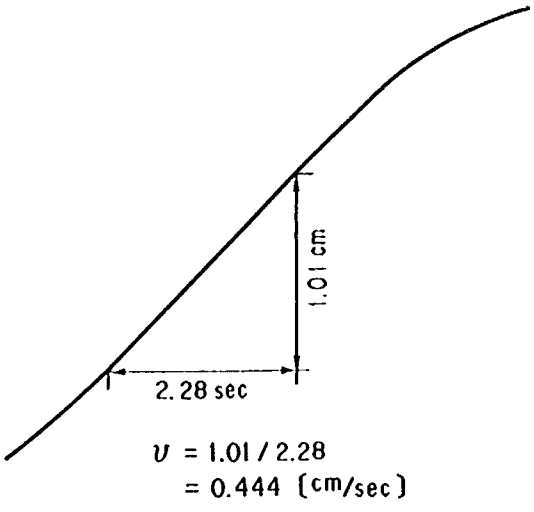
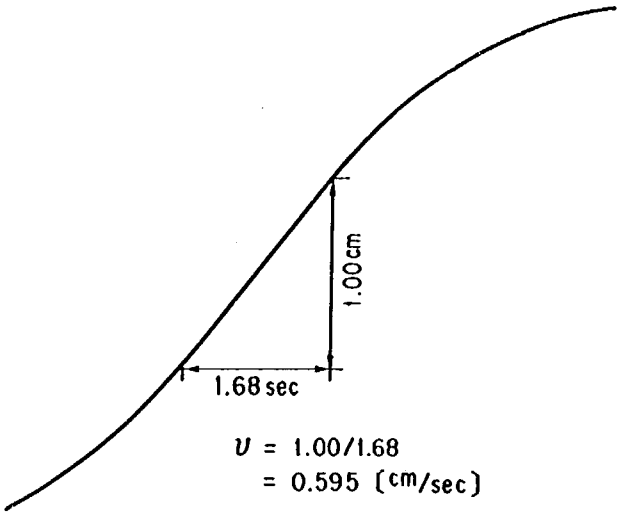


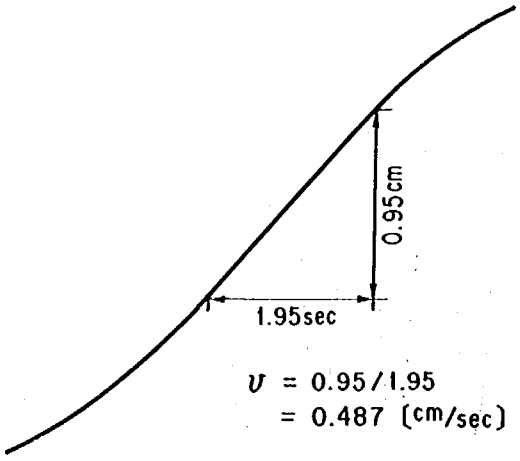
図 4.6　ダンパー定数の検定



(a) 橋 脚 1

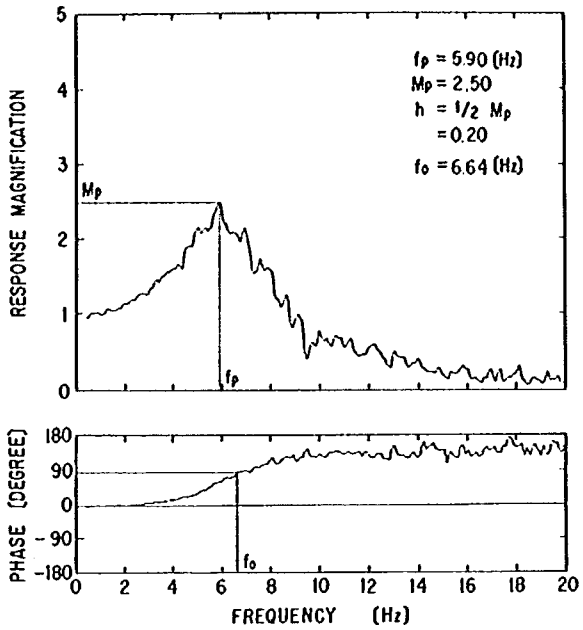


(b) 橋 脚 2

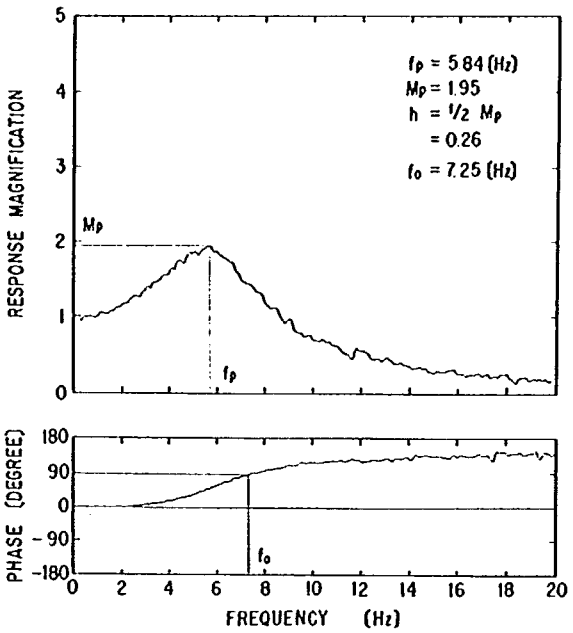


(c) 橋 脚 3

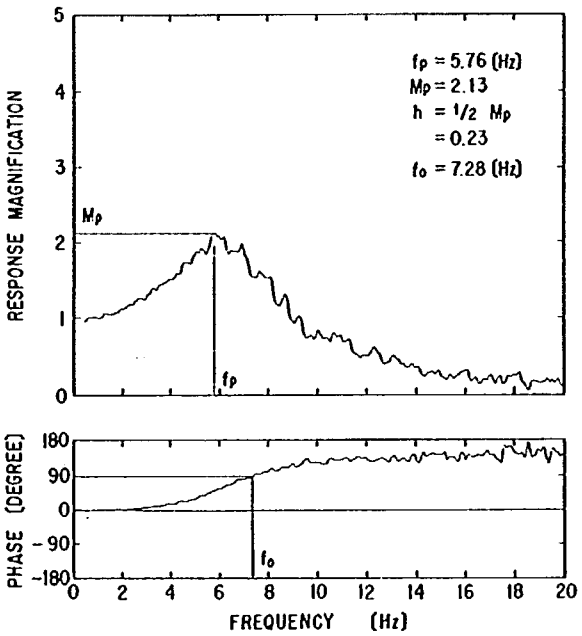
図 4.7　ダンパー定数の検定例（連続橋加振実験前，1回目）



(a) 橋 脚 1

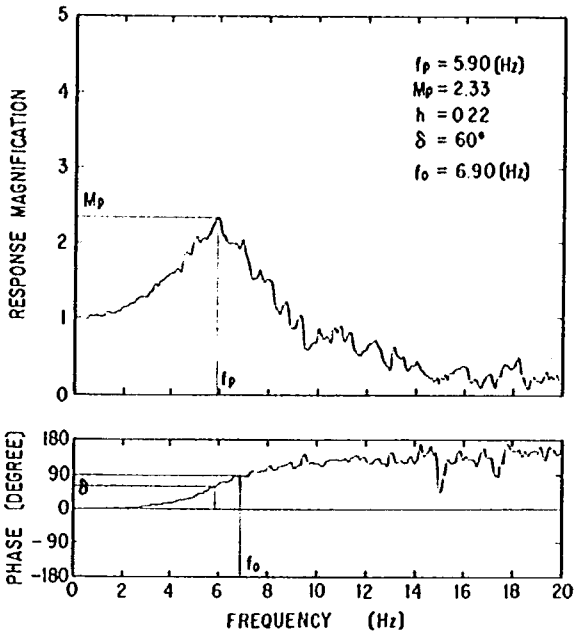


(b) 橋 脚 2

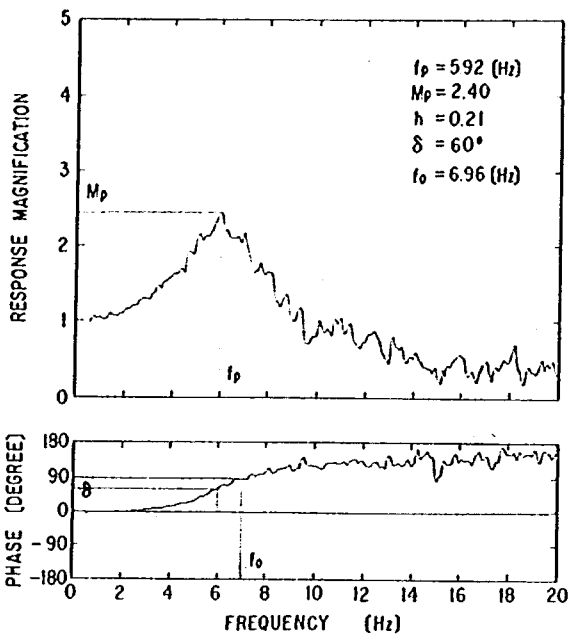


(c) 橋 脚 3

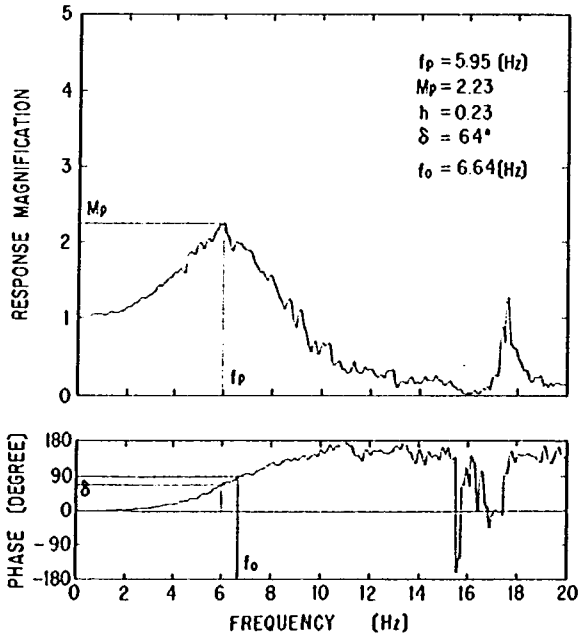
図 4.8　振動台とフーチング間の伝達関数



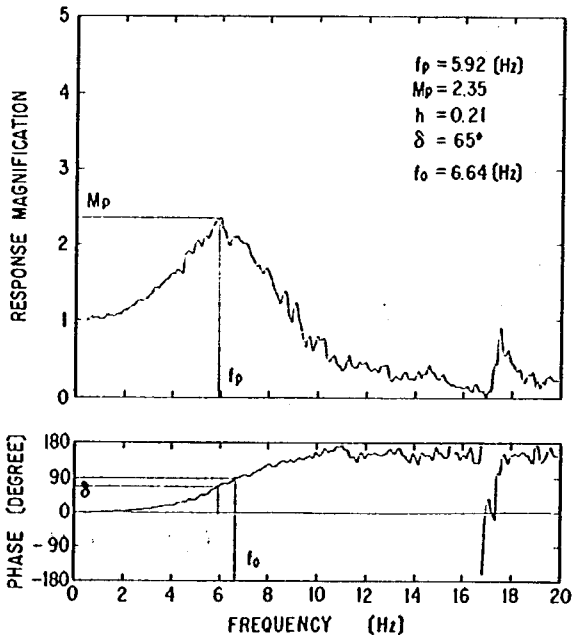
(a) 橋脚1，フーチング



(b) 橋脚1，橋脚天端

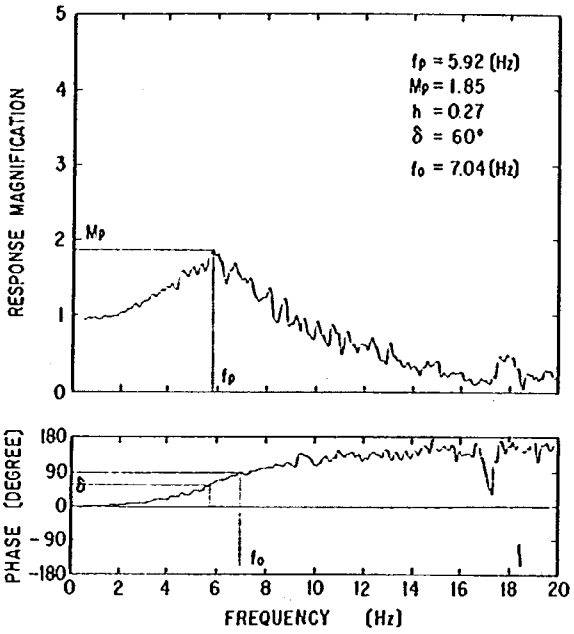


(c) 橋脚2，フーチング

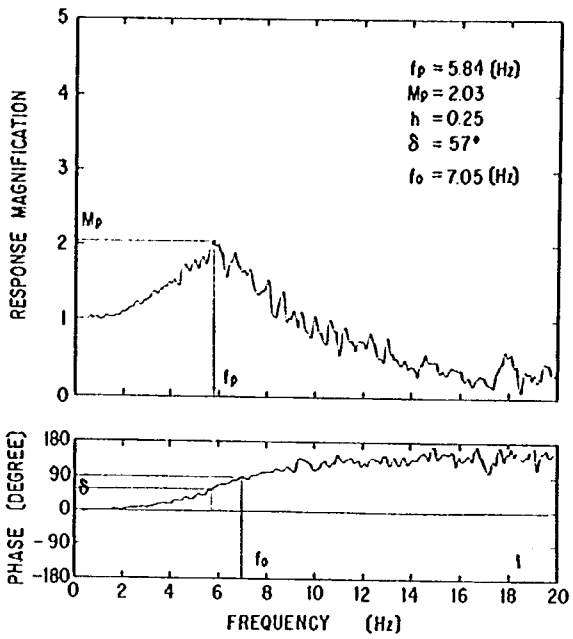


(d) 橋脚2，橋脚天端

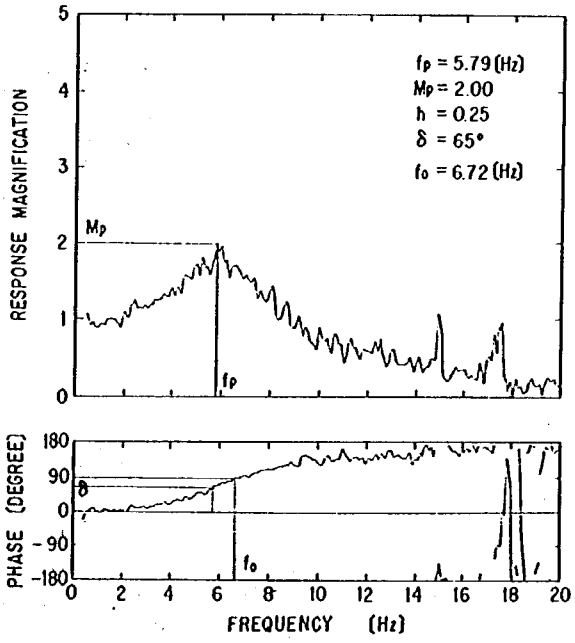
図 4.9(1) 振動台1を基準とした連続橋各部の伝達関数



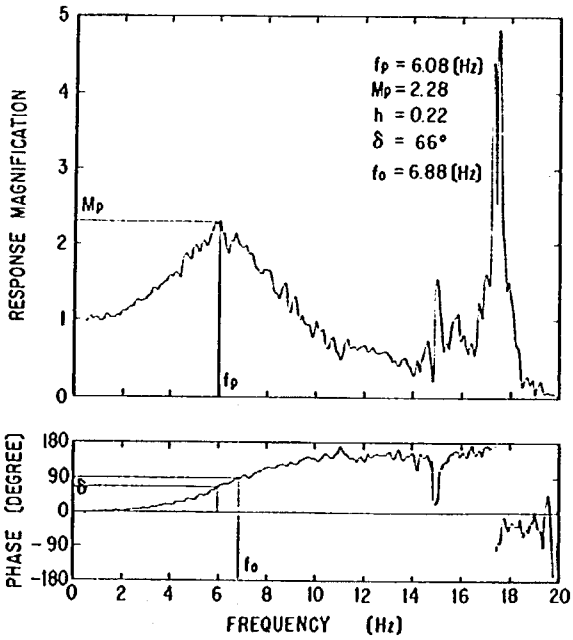
(e) 橋脚3，フーチング



(f) 橋脚3，橋脚天端

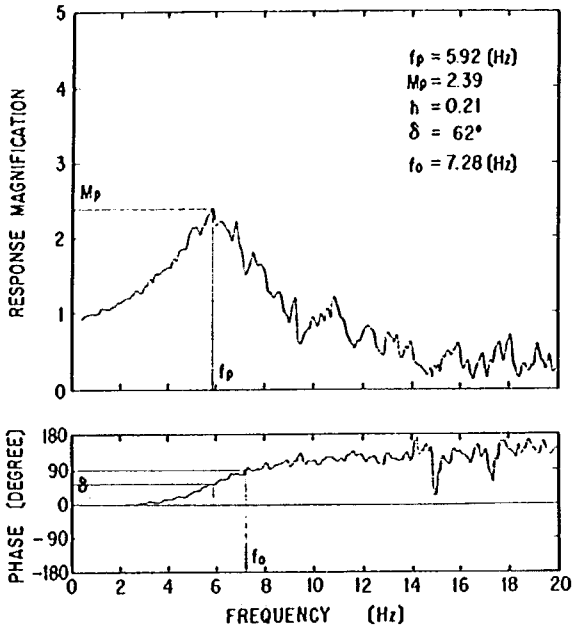


(g) 上部工，橋脚1および2の中間点

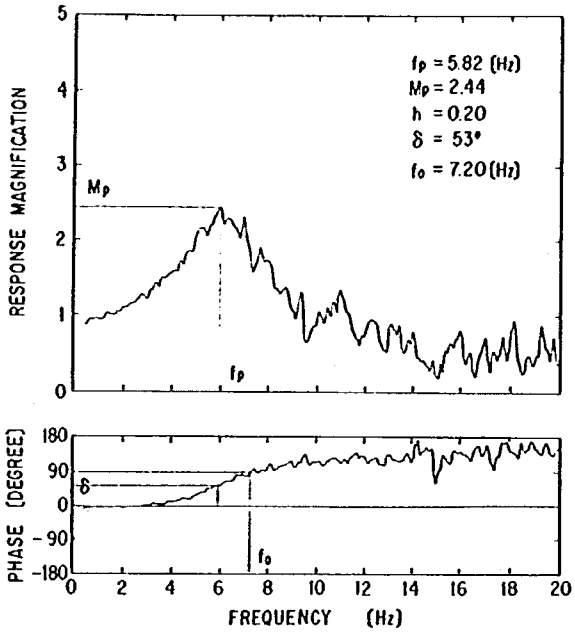


(h) 上部工，橋脚2および3の中間点

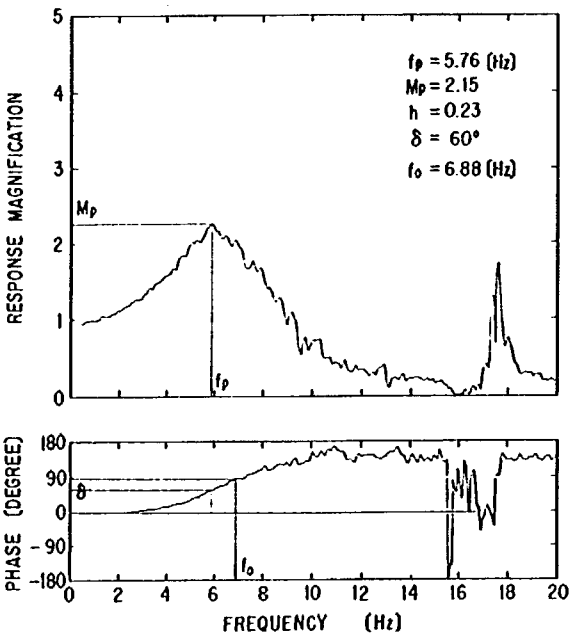
図 4.9(2) 振動台1を基準とした連続橋各部の伝達関数



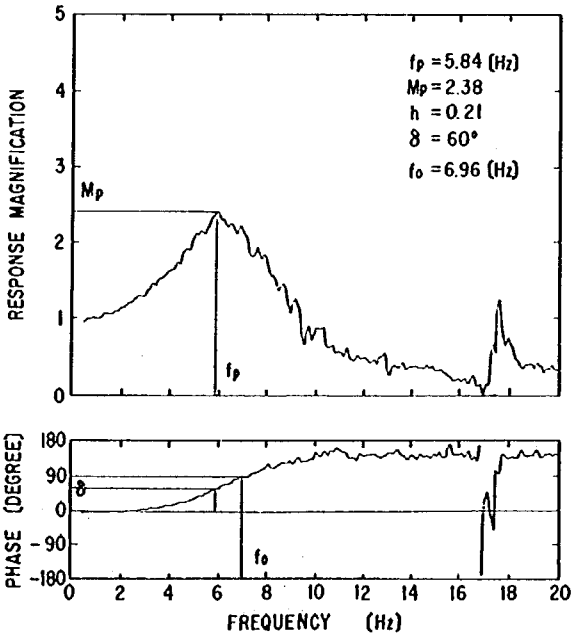
(a) 橋脚1，フーチング



(b) 橋脚1，橋脚天端

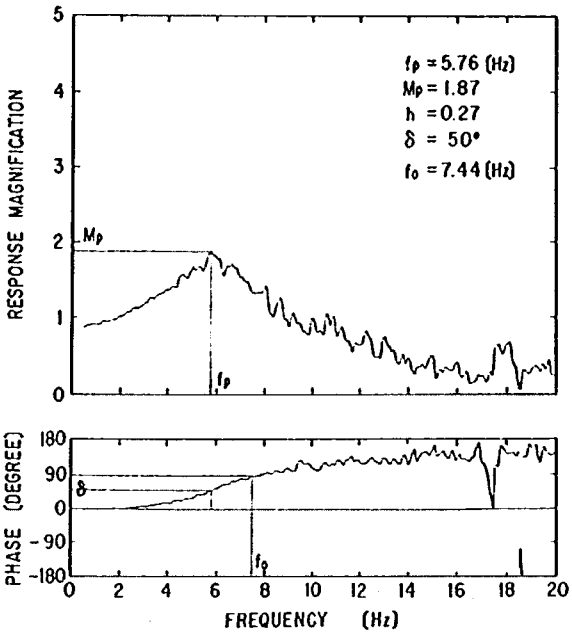


(c) 橋脚2，フーチング

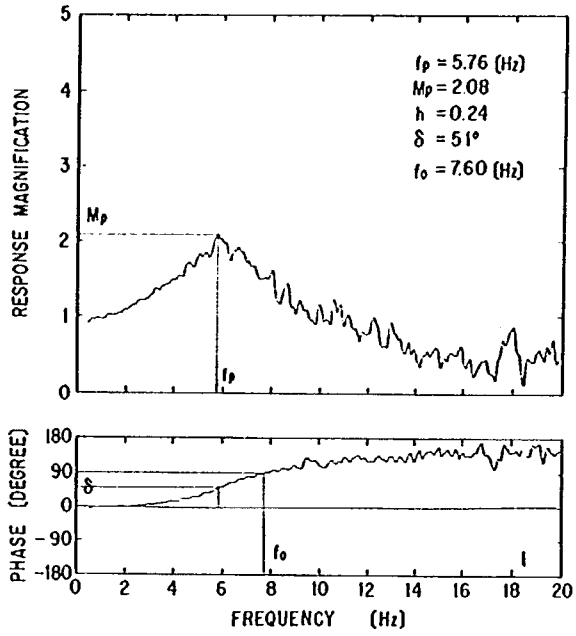


(d) 橋脚2，橋脚天端

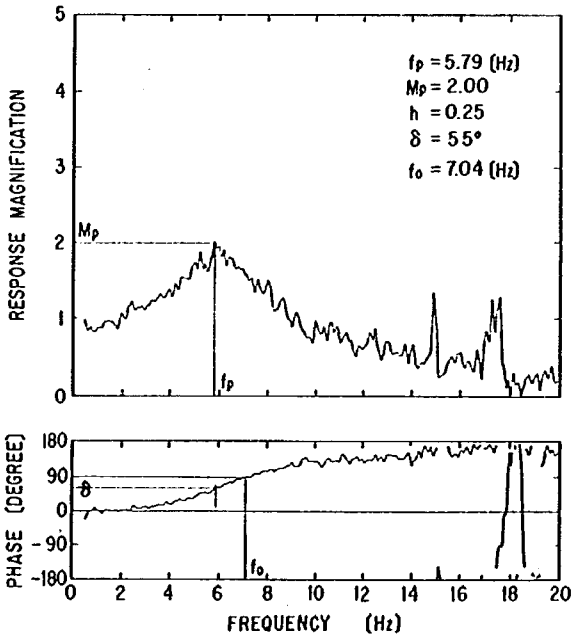
図 4.10(1) 振動台2を基準とした連続橋各部の伝達関数



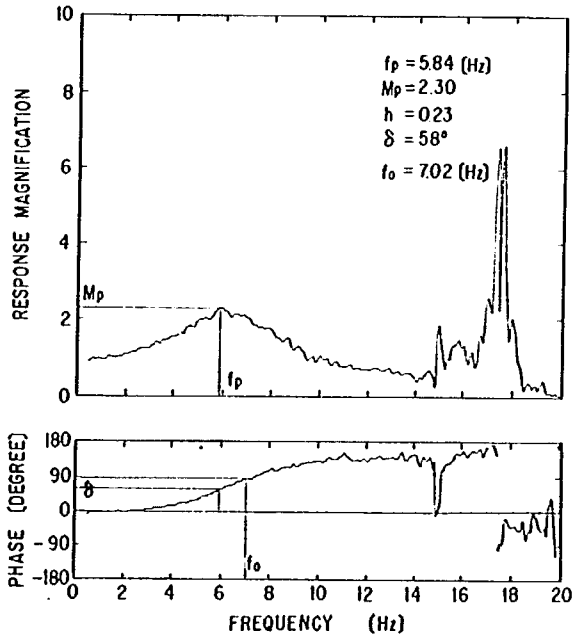
(e) 橋脚3，フーチング



(f) 橋脚3，橋脚天端

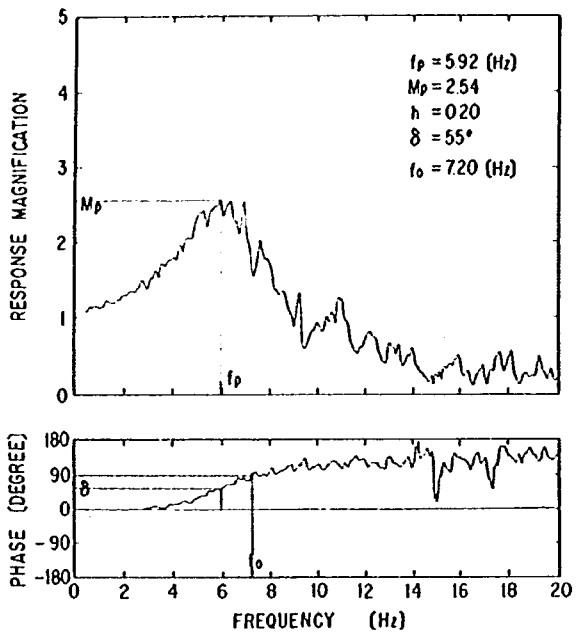


(g) 上部工，橋脚1および2の中間点

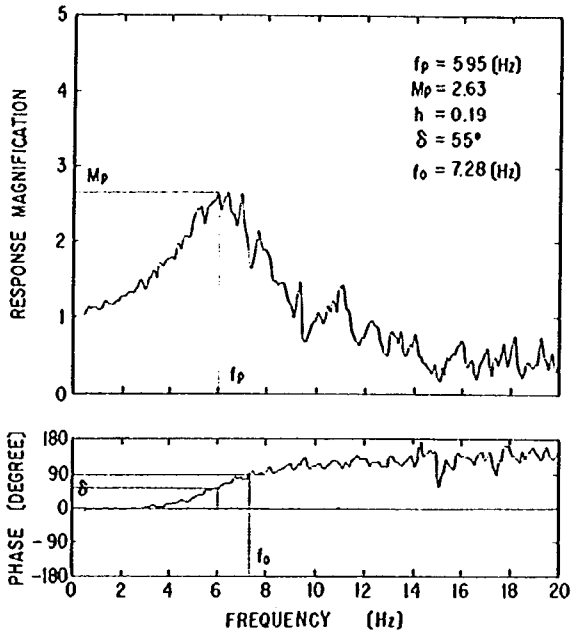


(h) 上部工，橋脚2および3の中間点

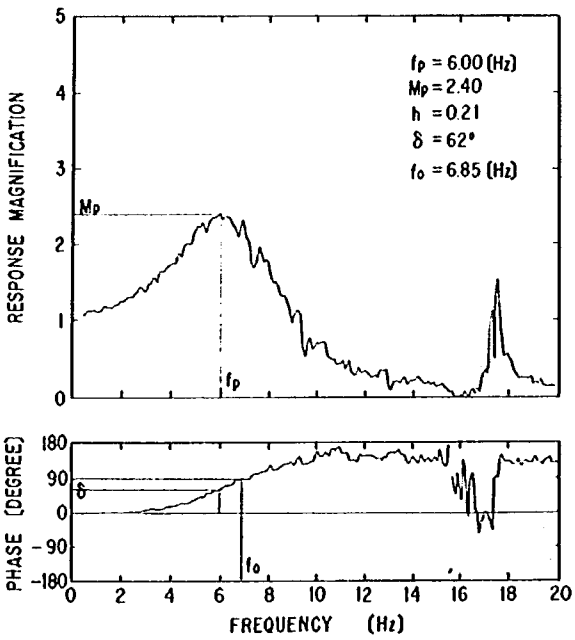
図 4.10(2) 振動台2を基準とした連続橋各部の伝達関数



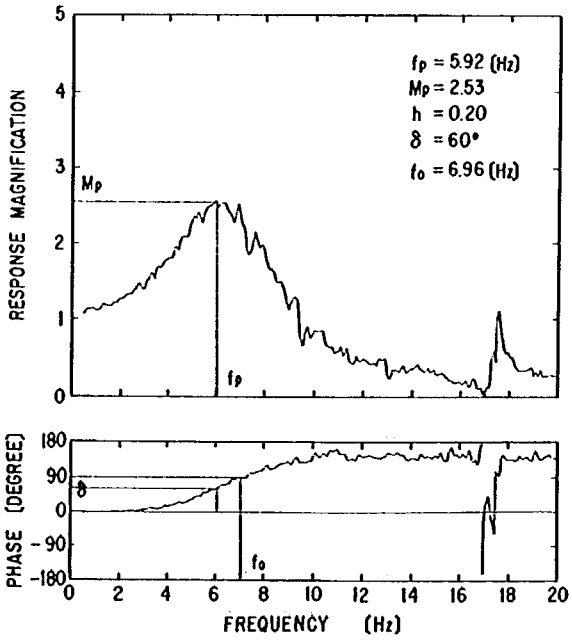
(a) 橋脚1，フーチング



(b) 橋脚1，橋脚天端

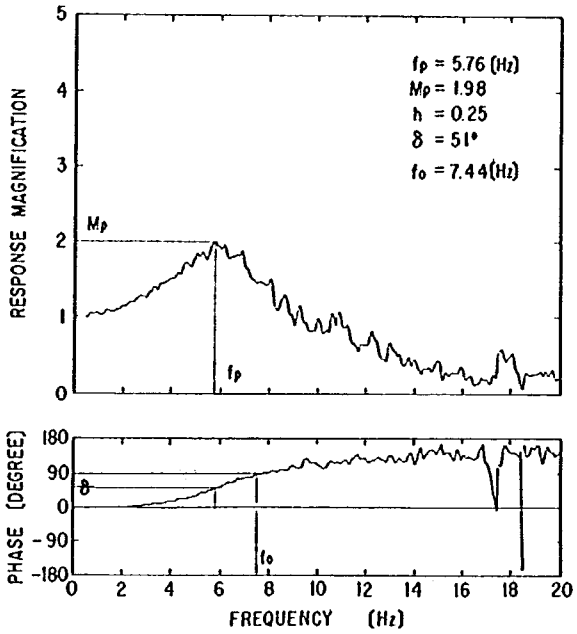


(c) 橋脚2，フーチング

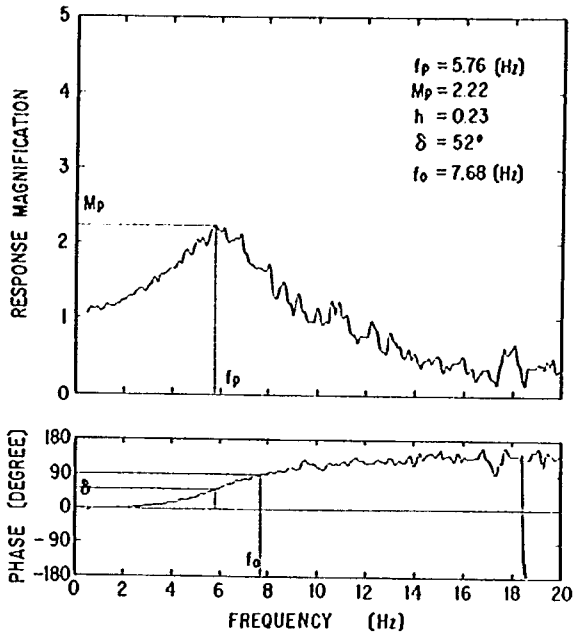


(d) 橋脚2，橋脚天端

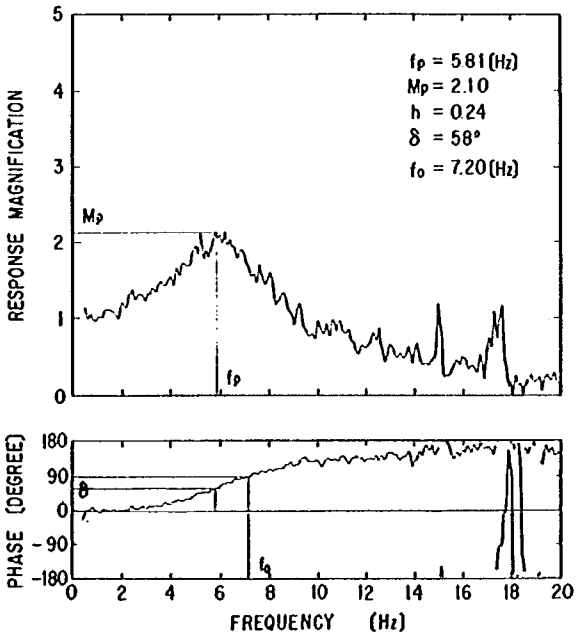
図 4.11(1) 振動台3を基準とした連続橋各部の伝達関数



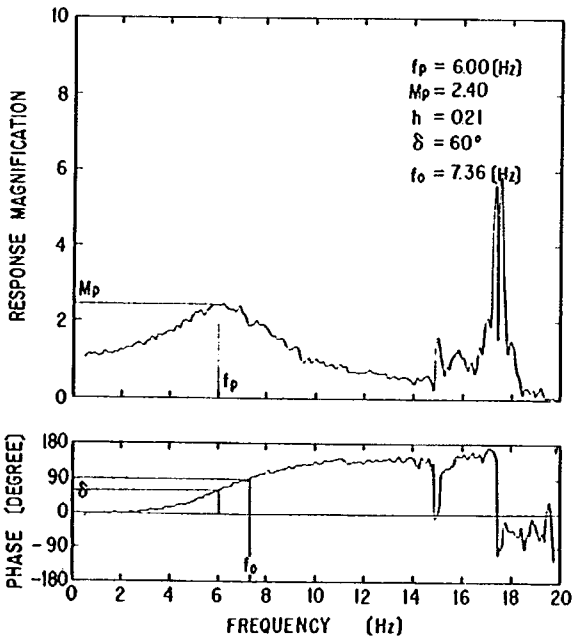
(e) 橋脚3，フーチング



(f) 橋脚3，橋脚天端

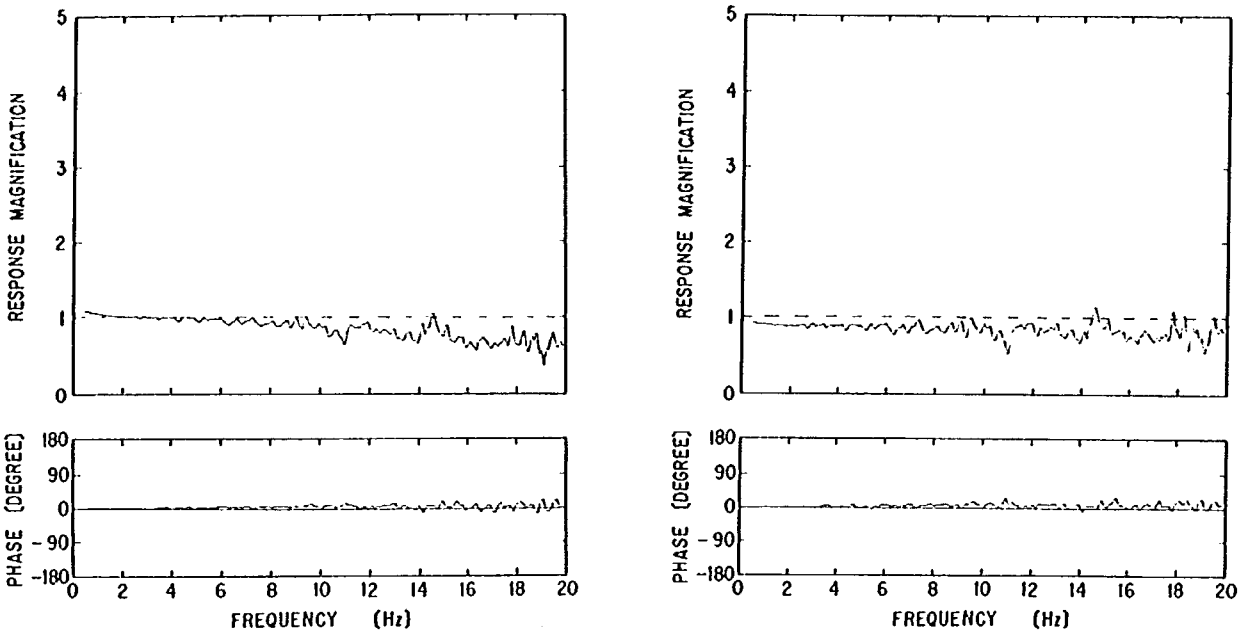


(g) 上部工，橋脚1および2の中間点



(h) 上部工，橋脚2および3の中間点

図 4.11(2)　振動台3を基準とした連続橋各部の伝達関数



(a) 振動台 2　　(b) 振動台 3

図 4.12　振動台 1 を基準とした振動台間の伝達関数

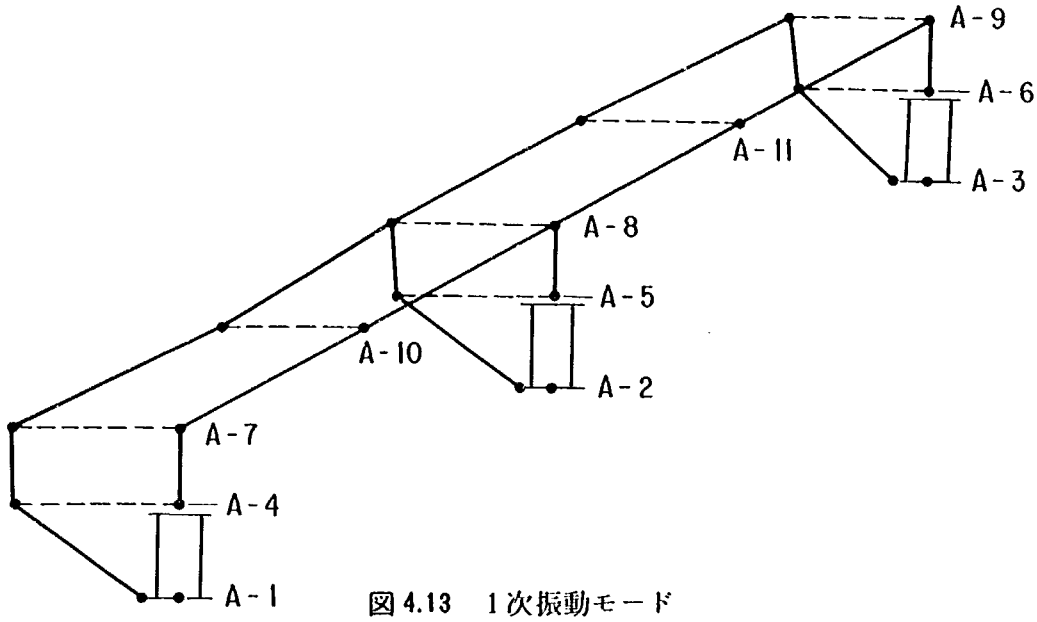


図 4.13　1 次振動モード

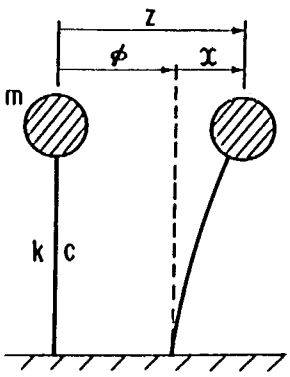
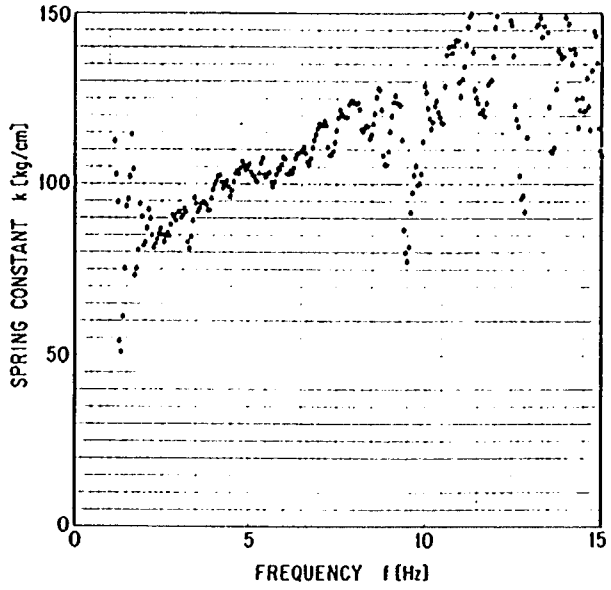
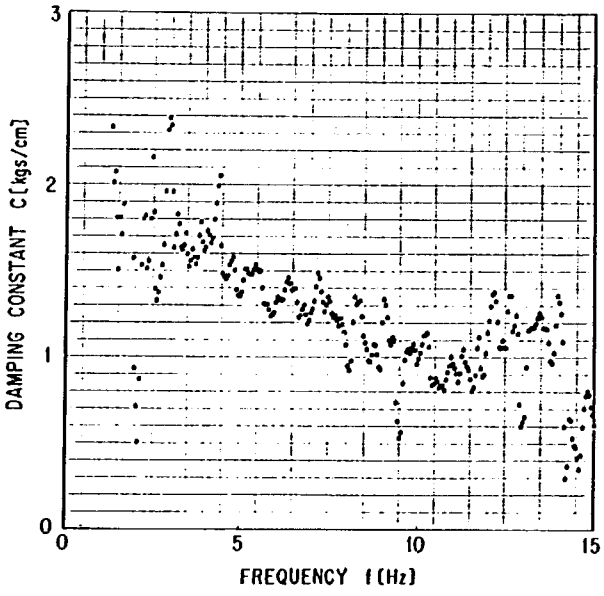


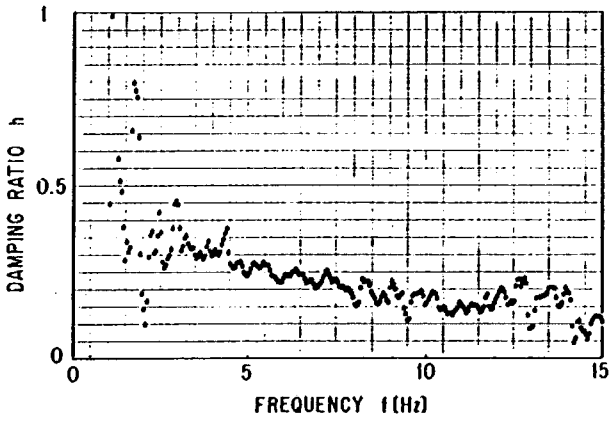
図 4.14　地動変位を受ける 1 自由度系



(a) ばね定数

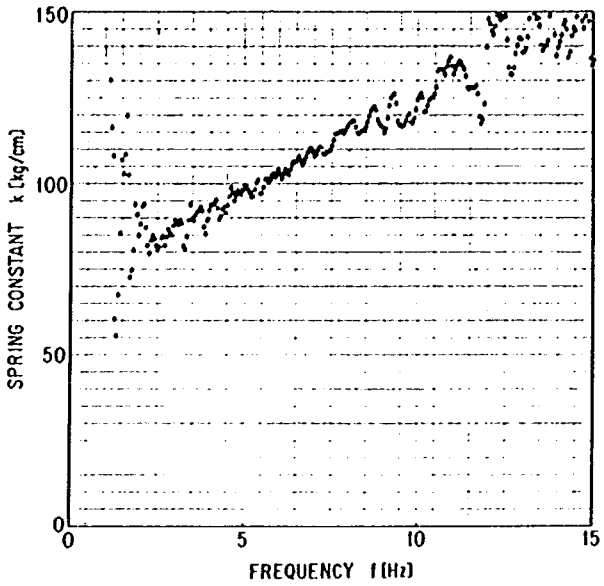


(b) 減衰係数

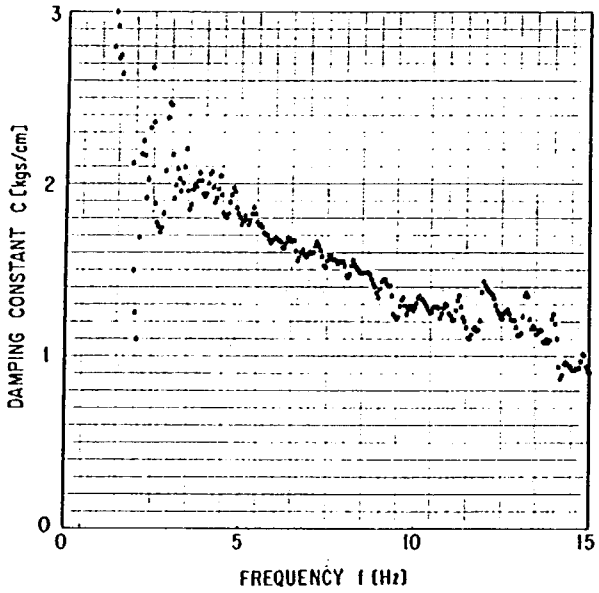


(c) 減衰定数

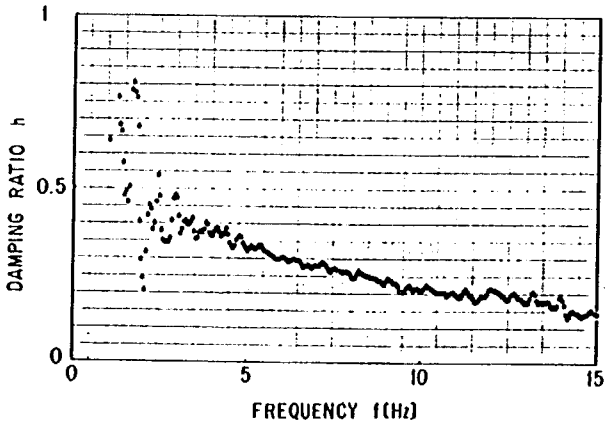
図 4.15 動的ばね定数および動的減衰定数（橋脚１）



(a) ばね定数

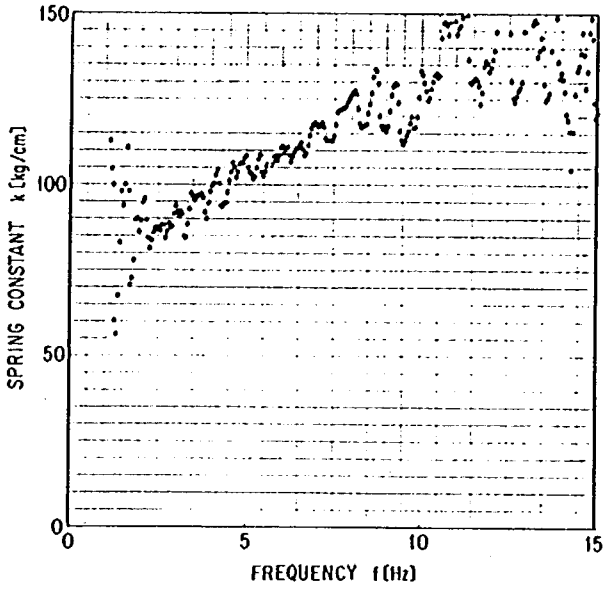


(b) 減衰係数

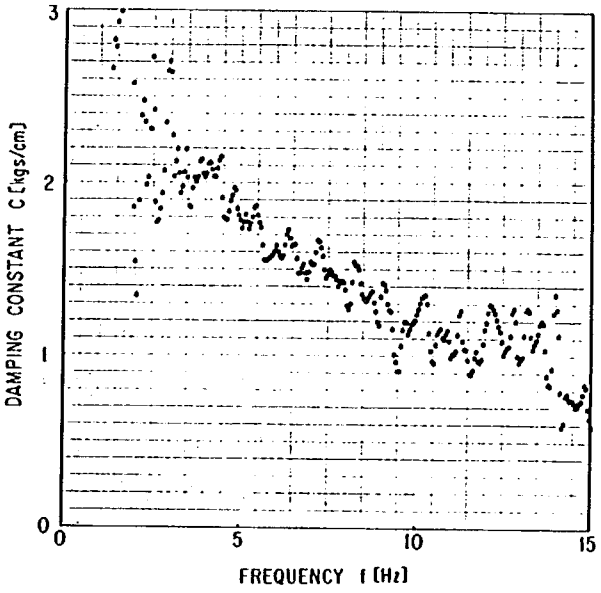


(c) 減衰定数

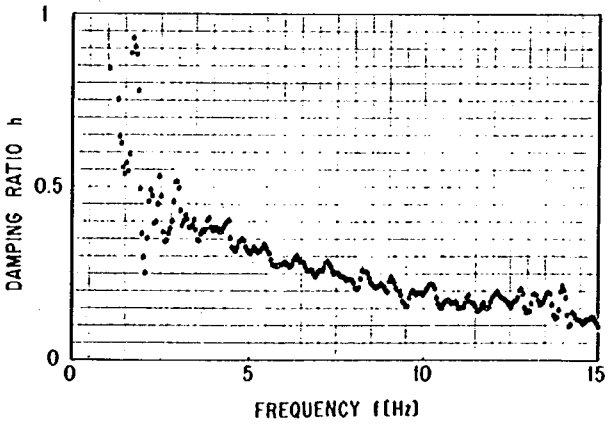
図 4.16 動的ばね定数および動的減衰定数（橋脚２）



(a) ばね定数



(b) 減衰係数



(c) 減衰定数

図 4.17　動的ばね定数および動的減衰定数（橋脚３）

5. 振動実験結果

5.1 実験ケースおよび結果の一覧

振動実験は橋脚単体および連続橋の両者について実施した。連続橋の場合は次の4種類の実験に区分される。

1) ランダム波入力振動実験

橋脚1基もしくは3橋脚すべてにランダム波を入力する。本実験は連続橋全体系の固有振動数および減衰定数等を算出するために実施したものである。

2) 正弦波位相差入力振動実験

同一振幅および同一振動数の正弦波を，その位相を（0，0，0），（$-\pi/2$，0，$\pi/2$）および（$-\pi$，0，π）に変化させて3基の橋脚に入力する。

3) 正弦波多点入力振動実験

同一振幅の正弦波を，その振動数を変化させて3橋脚に入力する。

4) 地震波入力振動実験

同一の実測地震波に位相差を付けて3橋脚に入力する。また，3地点で得られた地震波をそれぞれの橋脚に入力する。

橋脚単体の場合は，上記1)～4)に応じて，ランダム波入力振動実験，正弦波入力振動実験および地震波入力実験を実施した。これらの実験ケースの一覧を示すと，表5.1のようになる。また，実測地震波が得られた地震の諸元および加速度波形を，それぞれ，表5.2および図5.1～図5.3に示す。なお，連続橋振動実験の場合には端部の橋脚（橋脚1，3）天端に1/2径間分の上部工重量を代表するカウンターウェイト1個を付加するものとし，また，橋脚単体振動実験の場合にはその天端にカウンターウェイト2個を付加するものとした。

実験結果は最大値で整理することを原則とするが，正弦波を入力とする場合には応答値に含まれるノイズ等の影響を小さくするため，実効値をもとに次式により最大値 A_{max} を定義するものとする。

$$A_{max} = \sqrt{2} \times \sqrt{\frac{1}{T_d}\int_0^{T_d} A(t)^2 dt} \quad \cdots\cdots (5.1)$$

ここで，$A(t)$は応答値の時刻歴であり，また，T_dはその継続時間である。また，板ばねおよび橋脚基部のひずみ測定値については，換算係数を乗じて，曲げモーメントとして整理する。ひずみεから曲げモーメントM〔kg cm〕への換算式（詳細は付属資料2参照）は次のとおりである。

$$M = 0.945 \times 10^6 \varepsilon \ \text{〔kg cm〕} \ : \text{板ばね} \quad \cdots\cdots (5.2)$$

$$M = 29.5 \times 10^6 \varepsilon \ \text{〔kg cm〕} \ : \text{橋脚基部} \quad \cdots\cdots (5.3)$$

実験結果の最大値を表5.3および表5.4に示す。ただし，ここでは，データ処理の都合上，原データの

最大値を表5.3に，実効値による最大値を表5.4に示す。また，振動実験による記録波形の例を付属資料3に示し，正弦波入力振動実験および地震波入力振動実験の各実験ケースごとに，入力，フーチング天端および橋脚天端における最大加速度，橋脚基部における最大曲げモーメントを付属資料4に示す。なお，ここで，正弦波入力の場合は実効値による最大値を示し，また，地震波入力の場合は原記録の最大値を示している。

5.2 正弦波位相差入力振動実験

正弦波位相差入力振動実験とは，同一振幅および同一振動数の正弦波を，その位相差を（0，0，0），（$-\pi/2$，0，$\pi/2$）および（$-\pi$，0，π）に変化させて3基の橋脚に入力する実験であり，ここで，振動数は，2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 Hz の7種類とした。また，橋脚単体の場合には，上述の振動数を有する正弦波を各橋脚に入力した。

表5.3および表5.4に示した実験結果の最大値を用いて，連続橋もしくは橋脚単体による増幅特性を示すために，次のように，各最大応答値をそれぞれの橋脚に対する入力の最大加速度で除して応答倍率を定義する（表5.5参照）。

$$\text{応答倍率} = \frac{\text{最大応答値（最大加速度，最大曲げモーメント）}}{\text{最大入力加速度}}$$

ただし，ここで，上部工の桁中間点（A－10点およびA－11点）についてはその点を挟む2橋脚の最大入力加速度の平均で除するものとする。また，以降の解析においては，正弦波入力の場合には実効値による最大値を用い，地震波入力の場合は原記録の最大値を用いるものとする。応答倍率の一覧を示すと，表5.6のようになる。表5.6より，正弦波位相差入力振動実験の場合について，フーチング天端および橋脚天端における加速度の応答倍率，橋脚基部における曲げモーメントの応答倍率を示すと，図5.4～図5.7のようになる。これらの結果より，まず，橋脚単体の応答倍率について次の事項が指摘される。

1) 加速度応答倍率について

i) フーチング天端および橋脚天端における応答倍率はほぼ等しく，したがって，橋脚による増幅効果は小さいと考えられる。なお，この傾向は連続橋についても認められる。

ii) 応答倍率は，加振振動数2 Hz では1程度であるが，振動数の増加に伴い大きくなり，共振振動数に近い5～6 Hz で2程度の最大値をとる。振動数がさらに増加すると，応答倍率は減少し，10 Hz では0.5程度となる。

2) 曲げモーメント応答倍率について

曲げモーメント応答倍率についても上述の加速度応答倍率と同様の増加および減少傾向が認められる。すなわち，振動数2 Hz では応答倍率は3 kgcm/gal 程度であり，5～6 Hz で4.5～6 kgcm/gal 程度の最大値をとる。振動数がさらに増加すると応答倍率は減少し，10Hz では2 kgcm/gal 程度となる。

次に，正弦波位相差入力振動実験時の連続橋の応答倍率については，次の事項が指摘される。

1) 加速度応答倍率について

a) 端 橋 脚

i) 位相差が0および$\pi/2$の場合，応答倍率は上述の橋脚単体の場合と同様である。

ii) 位相差がπの場合の応答倍率は，振動数による変動が小さく，0.75～1.25程度となる。

b) 中間橋脚

i) 位相差が0の場合の応答倍率は橋脚単体の場合と同様である。

ii) 位相差が$\pi/2$の場合の応答倍率については，その変化の状況は橋脚単体の場合と類似しているが，倍率自体は小さくなっている。

iii) 位相差がπの場合，応答倍率は2 Hzでは0.3程度であり，振動数の増加に伴い概ね単調に増加し，10Hzでは2.5程度となる。

2) 曲げモーメント応答倍率について

a) 端 橋 脚

i) 位相差が0の場合の応答倍率は橋脚単体の場合と同様である。すなわち，振動数2 Hzでは3 kgcm/gal程度であり，5～6 Hzで5～6 kgcm/gal程度の最大値をとる。振動数がさらに増加すると応答倍率は減少し，10Hzでは2 kgcm/gal程度となる。

ii) 位相差が$\pi/2$の場合，振動数3 Hz以下では応答倍率は上述の位相差0の場合より大きくなるが，振動数4 Hz以上では位相差0の場合と概ね同等となる。

iii) 位相差がπの場合，振動数2 Hzでは応答倍率は14 kgcm/gal程度であり，振動数の増加に伴い6 Hz付近に小さなピークが認められるものの，概ね単調に減少する。4 Hz以上では位相差が0の場合よりも応答倍率は小さい。

b) 中間橋脚

i) 位相差が0の場合の応答倍率は端橋脚の場合と概ね同様である。

ii) 位相差が$\pi/2$の場合，振動数2 Hzでは応答倍率は14 kgcm/gal程度であり，4 Hz付近までは振動数の増加に伴い，減少する。振動数4 Hz以上では，応答倍率は1～2.5kgcm/gal程度の値をとる。

iii) 位相差がπの場合，応答倍率は，振動数2 Hzでは28kgcm/gal程度と大きい。振動数の増加にしたがって，応答倍率は単調に減少し，6 Hz以上では位相差が0の場合よりも小さくなる。

次に，橋脚単体と連続橋の応答特性を比較するために，次のように，連続橋の応答倍率を橋脚単体の応答倍率で除して応答倍率比を定義する。

$$\text{応答倍率比} = \frac{\text{連続橋の応答倍率}}{\text{橋脚単体の応答倍率}}$$

応答倍率比の一覧を表5.7に示す。また，正弦波位相差入力振動実験の場合について，フーチング天端および橋脚天端における加速度応答倍率比，橋脚基部における曲げモーメント応答倍率比を示すと，図5.8～図5.9のようになる。図5.8～図5.9より次の事項が指摘される。

1) 加速度応答倍率比について

a) 端 橋 脚

i) 位相差が0および$\pi/2$の場合，応答倍率比は，加振振動数6 Hz以下では1程度であり，8 Hz以上では0.6～2.5程度とばらつきが大きい。

ii) 位相差がπの場合，振動数8 Hz以下では1以下，10Hzでは2.5～3程度と大きくなる。

b) 中間橋脚

i) 位相差が0の場合，応答倍率比は振動数によらず，概ね1程度である。ただし，8 Hz付近では若干大きくなる。

ii) 位相差がπ/2の場合，応答倍率比は振動数8 Hz以下では0.5程度，10Hzでは1.5程度である。

iii) 位相差がπの場合，応答倍率比は振動数6 Hz以下では位相差がπ/2の場合よりもさらに小さく，8 Hz以上では大きくなる。特に，10Hzでは応答倍率比は3.5～4程度と大きい。

2) 曲げモーメント応答倍率比について

a) 端 橋 脚

i) 位相差が0の場合，応答倍率比は振動数によらず，概ね1程度である。

ii) 位相差がπ/2の場合，応答倍率比は振動数2 Hzでは3程度，振動数が増加するにしたがって減少し，4 Hz以上では概ね1程度となる。

iii) 位相差がπの場合も応答倍率比は上述のii)と同様の傾向を示す。すなわち，応答倍率比は2 Hzでは4.5程度と大きく，振動数が増加するにしたがって減少し，4 Hz以上では1以下となる。

b) 中間橋脚

i) 位相差が0の場合は，端橋脚の場合と同様に，応答倍率比は概ね1程度である。

ii) 位相差がπ/2の場合，応答倍率比は2 Hzでは4程度，振動数が増加するにしたがって減少し，4 Hz以上では1以下となる。

iii) 位相差がπの場合は，応答倍率比は振動数の増加に伴い，概ね単調に減少する。2 Hzでは応答倍率比は10程度であり，5～6 Hz以上では1程度以下となる。

5.3 正弦波多点入力振動実験

正弦波多点入力振動実験とは，同一振幅の正弦波を，その振動数の組合せを変化させて3基の橋脚に入力する実験であり，ここで，振動数の組合せは，（6, 4, 2），（8, 6, 4），（10, 8, 6），（10, 5, 2），（6, 5, 4）〔Hz〕の5種類とした。また，橋脚単体の場合にも上述の振動数の組合せで各橋脚に正弦波を入力した。

正弦波位相差入力振動実験の場合と同様に，応答倍率を定義し，フーチング天端および橋脚天端における加速度応答倍率，橋脚基部における曲げモーメント応答倍率を示すと，図5.10～図5.11のようになる。これらの結果より連続橋の応答倍率について次の事項が指摘される。なお，橋脚単体の場合は正弦波位相差入力実験で対応する振動数の位相差が0の場合に相当する。

1) 加速度応答倍率について

端橋脚で振動数6 Hzの場合の応答倍率は1.5～2程度であり，それ以外は橋脚位置および振動数によらず，応答倍率は1～1.5程度である。

2) 曲げモーメント応答倍率について

応答倍率は，橋脚位置および振動数によって種々変化するが，振動数4～6 Hzにおいては応答倍率

が高くなる場合がある。

次に，前節と同様に，応答倍率比を示すと，図5.12～図5.13のようになる。図5.12～図5.13より次の事項が指摘される。

1) 加速度応答倍率比について

a) 端 橋 脚

i) 高振動数側の端橋脚（橋脚1）の場合，応答倍率比は振動数が6 Hzおよび8 Hzでは1程度，10 Hzでは2程度である。

ii) 低振動数側の端橋脚（橋脚3）の場合，応答倍率比は振動数によらず1程度である。

b) 中間橋脚

振動数によらず，応答倍率比は1程度以下である。

2) 曲げモーメント応答倍率比について

a) 端 橋 脚

i) 高振動数側の端橋脚の場合，応答倍率比は，振動数が6 Hzおよび8 Hzでは1程度である。振動数が10 Hzでは，他の2橋脚への入力振動数が（8，6）〔Hz〕の場合は1.5程度，また，（5，2）〔Hz〕の場合は3程度と大きくなる。

ii) 低振動数側の端橋脚の場合，応答倍率比は，いずれの振動数でも1程度である。ただし，応答倍率比は，振動数が2 Hzから6 Hzまで高くなるにしたがって，小さくなる傾向が認められる。

b) 中間橋脚

応答倍率比は0.7～1.7程度の値をとり，低振動数側の端橋脚の場合と同様に，振動数が高くなるにしたがって，応答倍率比が小さくなる傾向が認められる。

5.4 地震波入力振動実験

地震波入力振動実験とは，同一の実測地震波の位相差を（0，0，0），（−0.2，0，0.2）および（−0.5，0，0.5）〔sec〕の3種類に変化させて3基の橋脚に入力する実験（地震波位相差入力振動実験），ならびに3地点で得られた地震波をそれぞれの橋脚に入力する実験（地震波多点入力振動実験）であり，実験に使用した地震波は表5.2に示した愛鷹記録，土研記録および焼津記録の3種類である。

実験験果より，フーチング天端および橋脚天端における加速度応答倍率，橋脚基部における曲げモーメント応答倍率を示すと，図5.14～図5.21のようになる。これより橋脚単体の応答倍率について次の事項が指摘される。

1) 加速度応答倍率について

応答倍率は，記録による差異は小さく，概ね0.75～1程度の値をとる。

2) 曲げモーメント応答倍率について

1)と同様に，曲げモーメント応答倍率も記録による差異は小さいが，橋脚1および3では応答倍率が2～2.8 kgcm/galであるのに対して，橋脚2では1～1.3 kgcm/gal程度となっている。

地震波位相差入力振動実験時の連続橋の応答倍率については次の事項が指摘される。

1) 加速度応答倍率について

a) 端 橋 脚

記録および位相差の違いによる応答倍率の差異は小さい。フーチング上の応答倍率は，橋脚1では1～1.25程度，橋脚3では0.75～1程度である。

b) 中間橋脚

位相差が0秒の場合は，いずれの記録についても，応答倍率は1～1.2程度である。愛鷹記録および土研記録の場合は，位相差を0.2，0.5秒とすると応答倍率が小さくなる傾向が認められる。焼津記録については必ずしも顕著にそのような傾向は認められない。

2) 曲げモーメント応答倍率について

a) 端 橋 脚

愛鷹記録および土研記録の場合は，位相差によらず，応答倍率は3～6 kgcm/gal 程度の値をとる。焼津記録では位相差0秒の場合は3 kgcm/gal 程度であるのに対して，位相差0.2秒では10kgcm/gal 程度，0.5秒では27 kgcm/gal 程度と大きくなる。

b) 中間橋脚

愛鷹記録および土研記録の場合，応答倍率は，位相差0秒では3 kgcm/gal 程度，位相差0.2秒では8 kgcm/gal 程度，0.5秒では5 kgcm/gal 程度となる。焼津記録については，上述のa)の場合と同様に，位相差が大きくなるに従って応答倍率は大きくなり，特に位相差0.5秒では52 kgcm/gal に達する。

また，地震波多点入力振動実験時の連続橋の応答倍率について次の事項が指摘される。

1) 加速度応答倍率について

a) 端 橋 脚

記録による若干の差異は認められるが，総じて，応答倍率は橋脚1では1～1.25程度，橋脚3では0.75～1程度である。

b) 中間橋脚

記録による応答倍率の差異が認められる。フーチング上の応答倍率は，愛鷹記録および土研記録では1～1.2程度，焼津記録では0.6程度である。

2) 曲げモーメント応答倍率について

a) 端 橋 脚

愛鷹記録および土研記録では，応答倍率比は3～8 kgcm/gal 程度である。焼津記録では20～25 kgcm/gal 程度である。

b) 中間橋脚

愛鷹記録および土研記録については，応答倍率は端橋脚の場合と同様の5 kgcm/gal 程度である。焼津記録については，上述のa)の場合よりも大きくなり，35 kgcm/gal 程度の値をとる。

次に，5.2節の場合と同様に，応答倍率比を定義し，フーチング天端および橋脚天端における加速度応答倍率比および橋脚基部における曲げモーメント応答倍率比を示すと，図5.22～図5.25のようになる。これより地震波位相差入力振動実験時の連続橋の応答倍率比について次の事項が指摘される。

1) 加速度応答倍率比について

a) 端 橋 脚

記録および位相差の違いによる応答倍率比の差異は小さく，フーチング天端上における応答倍率比は，総じて，0.8 ～ 1.2 程度である。

b) 中間橋脚

位相差が 0 秒の場合は，いずれの記録についても，応答倍率比は 1 ～ 1.25程度である。愛鷹記録および土研記録の場合は，位相差が 0.2，0.5 秒となると応答倍率比は減少する傾向が認められる。焼津記録については顕著にはそのような傾向は認められない。

2) 曲げモーメント応答倍率比について

a) 端 橋 脚

一般に，位相差が大きくなると，応答倍率比が大きくなる傾向が認められる。愛鷹記録および土研記録の場合，位相差 0 秒では 1 ～ 1.4 程度であるが，位相差 0.5 秒では 1.8 ～ 2.4 程度となる。焼津記録の場合，位相差 0 秒では 1.6 程度であるが，位相差 0.5 秒では12程度となる。

b) 中間橋脚

愛鷹記録および土研記録の場合，応答倍率比は位相差 0 秒では 1.7 ～ 2 程度，位相差 0.2 秒では 5.7 ～ 6.7 程度と増加し，位相差が 0.5 秒になると 4.5 ～ 5 程度と反対に減少する。焼津記録の場合，位相差が 0 秒では愛鷹記録および土研記録と同程度であるが，位相差が大きくなるに従って応答倍率比は大きくなり，位相差 0.5 秒では 53 となる。

また，地震波多点入力振動実験時の連続橋の応答倍率比については，次の事項が指摘される。

1) 加速度応答倍率比について

a) 端 橋 脚

応答倍率比は，土研記録および焼津記録については橋脚位置によらず，それぞれ，1.0 程度および 1.4 程度である。愛鷹記録の場合は，橋脚 1 では 1.25 程度，橋脚 3 では 1.0 程度である。

b) 中間橋脚

応答倍率比は，愛鷹記録および焼津記録では，それぞれ，0.9 程度および 0.8 程度と 1 より小さいのに対して，土研記録では 1.2 程度と 1 より大きくなっている。

2) 曲げモーメント応答倍率比について

a) 端 橋 脚

愛鷹記録および土研記録の場合，応答倍率比は 1 ～ 3 程度であるのに対して焼津記録の場合は10～15程度と大きくなる。

b) 中間橋脚

応答倍率比は，上述の端橋脚の場合より大きくなる。愛鷹記録および土研記録では 3 ～ 5 程度であり，焼津記録では 35 程度である。

表 5.1　実験ケースの一覧

(a) 橋脚単体

		橋脚 1	橋脚 2	橋脚 3
ランダム波		ランダム波	ランダム波	ランダム波
正弦波		2 Hz	2 Hz	2 Hz
		3 Hz	3 Hz	3 Hz
		4 Hz	4 Hz	4 Hz
		5 Hz	5 Hz	5 Hz
		6 Hz	6 Hz	6 Hz
		8 Hz	8 Hz	8 Hz
		10 Hz	10 Hz	10 Hz
地震波	愛鷹記録	$\ddot{u}_B$	$\ddot{u}_B$	$\ddot{u}_B$
		$\ddot{u}_A$	$\ddot{u}_B$	$\ddot{u}_C$ [1]
	土研記録	$\ddot{u}_B$	$\ddot{u}_B$	$\ddot{u}_B$
		$\ddot{u}_A$	$\ddot{u}_B$	$\ddot{u}_C$
	焼津記録	$\ddot{u}_B$	$\ddot{u}_B$	$\ddot{u}_B$
		$\ddot{u}_A$	$\ddot{u}_B$	$\ddot{u}_C$

(b) 連続橋

		橋脚 1	橋脚 2	橋脚 3
ランダム波		ランダム波	ランダム波	ランダム波
正弦波	位相差入力	2 Hz (0)[2]	2 Hz (0)	2 Hz (0)
		2 Hz ($-\pi/2$)	2 Hz (0)	2 Hz ($\pi/2$)
		2 Hz ($-\pi$)	2 Hz (0)	2 Hz (π)
		3 Hz (0)	3 Hz (0)	3 Hz (0)
		3 Hz ($-\pi/2$)	3 Hz (0)	3 Hz ($\pi/2$)
		3 Hz ($-\pi$)	3 Hz (0)	3 Hz (π)
		4 Hz (0)	4 Hz (0)	4 Hz (0)
		4 Hz ($-\pi/2$)	4 Hz (0)	4 Hz ($\pi/2$)
		4 Hz ($-\pi$)	4 Hz (0)	4 Hz (π)
		5 Hz (0)	5 Hz (0)	5 Hz (0)
		5 Hz ($-\pi/2$)	5 Hz (0)	5 Hz ($\pi/2$)
		5 Hz ($-\pi$)	5 Hz (0)	5 Hz (π)
		6 Hz (0)	6 Hz (0)	6 Hz (0)
		6 Hz ($-\pi/2$)	6 Hz (0)	6 Hz ($\pi/2$)
		6 Hz ($-\pi$)	6 Hz (0)	6 Hz (π)
		8 Hz (0)	8 Hz (0)	8 Hz (0)
		8 Hz ($-\pi/2$)	8 Hz (0)	8 Hz ($\pi/2$)
		8 Hz ($-\pi$)	8 Hz (0)	8 Hz (π)
		10Hz (0)	10 Hz (0)	10 Hz (0)
		10Hz ($-\pi/2$)	10 Hz (0)	10 Hz ($\pi/2$)
		10Hz ($-\pi$)	10 Hz (0)	10 Hz (π)
	多点入力	6 Hz	4 Hz	2 Hz
		8 Hz	6 Hz	4 Hz
		10 Hz	8 Hz	6 Hz
		10 Hz	5 Hz	2 Hz
		6 Hz	5 Hz	4 Hz
地震波	愛鷹記録	$\ddot{u}_B$ (0)	$\ddot{u}_B$ (0)	$\ddot{u}_B$ (0)
		$\ddot{u}_B$ (−0.2 s)	$\ddot{u}_B$ (0 s)	$\ddot{u}_B$ (0.2 s)
		$\ddot{u}_B$ (−0.5 s)	$\ddot{u}_B$ (0 s)	$\ddot{u}_B$ (0.5 s)
		$\ddot{u}_A$	$\ddot{u}_B$	$\ddot{u}_C$
	土研記録	$\ddot{u}_B$ (0)	$\ddot{u}_B$ (0)	$\ddot{u}_B$ (0)
		$\ddot{u}_B$ (−0.2 s)	$\ddot{u}_B$ (0 s)	$\ddot{u}_B$ (0.2 s)
		$\ddot{u}_B$ (−0.5 s)	$\ddot{u}_B$ (0 s)	$\ddot{u}_B$ (0.5 s)
		$\ddot{u}_A$	$\ddot{u}_B$	$\ddot{u}_C$
	焼津記録	$\ddot{u}_B$ (0)	$\ddot{u}_B$ (0)	$\ddot{u}_B$ (0)
		$\ddot{u}_B$ (−0.2 s)	$\ddot{u}_B$ (0 s)	$\ddot{u}_B$ (0.2 s)
		$\ddot{u}_B$ (−0.5 s)	$\ddot{u}_B$ (0 s)	$\ddot{u}_B$ (0.5 s)
		$\ddot{u}_A$	$\ddot{u}_B$	$\ddot{u}_C$

注）1) $\ddot{u}_A$，$\ddot{u}_B$ および $\ddot{u}_C$ は，それぞれ，3 地点で得られた地震波を表す。

2) （　）内は位相遅れを表す。

なお，位相遅れは，正弦波位相差入力の場合は角度で，地震波入力の場合は時間で与えるものとする。

表 5.2　実測地震波が得られた地震の諸元

記録名	発生年月日	地震名（震央地名）	マグニチュード	震央距離（km）	観測点[1]			成分
					$\ddot{u}_A$ [2]	$\ddot{u}_B$	$\ddot{u}_C$	
愛媛記録	1980. 6. 29	伊豆半島東方沖	6.9	45	千本松原	沼津バイパス	今沢小学校	東西
土研記録	1983. 2. 27	茨城県南部	6.0	22	A2S2点	A2C0点	A2N2点	東西
焼津記録	1984. 9. 14	長野県西部	6.8	126	東益津小学校	中里ちびっこ広場	朝比奈川橋	東西

注）　1）観測点の位置等は，参考文献2）～4）を参照のこと。
　　2）$\ddot{u}_A$，$\ddot{u}_B$ および $\ddot{u}_C$ は表5.1に対応する。

表 5.3(1) 実験結果の最大値

(a) 橋脚単体

計測点[1]	ランダム波 50 gal	ランダム波 100 gal	2 Hz	3 Hz	4 Hz	5 Hz	6 Hz	8 Hz	10 Hz
A- 1	54.1	161.8	95.5	96.8	97.4	92.6	87.2	77.2	72.0
A- 2	45.7	126.8	101.5	102.0	99.8	93.9	86.4	70.4	67.0
A- 3	45.7	143.7	101.1	112.7	111.1	106.2	98.6	81.3	73.6
A- 4	47.7	183.1	71.5	82.8	118.1	150.5	150.8	98.2	45.1
A- 5	41.5	138.2	82.2	96.3	123.5	144.8	132.0	78.1	38.8
A- 6	41.2	147.1	74.2	83.9	108.1	119.9	115.6	77.9	32.9
A- 7	49.6	186.4	73.7	82.2	113.5	142.4	175.1	104.3	60.2
A- 8	46.4	147.5	89.7	102.6	132.1	154.6	154.8	90.8	58.9
A- 9	52.8	186.9	86.1	93.9	118.6	142.7	147.8	99.7	61.4
A-10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A-11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S- 1	24.4	93.9	59.1	62.5	73.0	87.5	90.5	45.7	23.6
S- 2	25.7	97.5	61.5	64.9	75.5	90.8	93.9	47.5	24.6
S- 3	129.2	481.6	198.5	235.1	327.6	404.5	448.0	239.4	145.3
S- 4	19.4	84.6	63.9	67.5	77.9	90.8	82.2	40.5	20.7
S- 5	20.5	89.7	67.7	71.2	81.8	95.5	86.6	43.1	21.9
S- 6	108.0	354.7	213.8	261.2	336.8	392.4	354.6	195.9	145.5
S- 7	19.0	75.5	54.6	59.2	64.3	76.9	79.2	42.6	19.5
S- 8	18.7	74.9	55.8	58.4	64.3	76.0	78.8	42.4	19.2
S- 9	115.1	383.0	202.4	230.1	302.7	341.3	332.2	223.4	137.4
S-10	1.2	4.4	1.8	1.8	2.7	2.8	3.3	2.2	2.2
S-11	15.7	63.4	47.7	49.3	55.2	65.0	65.6	34.3	15.8
D- 1	1.8	6.8	3.6	2.2	1.0	0.7	3.8	3.2	3.1
D- 2	1.7	6.8	4.3	1.7	1.5	1.0	1.9	0.5	1.0
D- 3	1.5	6.0	3.5	1.6	1.0	0.7	0.4	0.9	0.5
A-12	51.3	157.8	93.6	96.1	96.2	90.9	81.7	67.8	72.3
A-13	45.7	128.5	101.6	100.8	98.9	94.0	84.5	69.4	71.7
A-14	43.9	139.9	100.4	110.9	108.4	103.6	96.5	79.6	73.7

計測点	愛鷹 $\ddot{u}_B$(1回目)	愛鷹 $\ddot{u}_B$(2回目)	愛鷹 $\ddot{u}_A, \ddot{u}_B, \ddot{u}_C$	土研 $\ddot{u}_B$	土研 $\ddot{u}_A, \ddot{u}_B, \ddot{u}_C$	焼津 $\ddot{u}_B$	焼津 $\ddot{u}_A, \ddot{u}_B, \ddot{u}_C$	ランダム波 50 gal
A- 1	87.6	89.2	39.4	77.7	96.1	68.1	63.4	49.8
A- 2	85.4	87.0	88.7	75.2	75.8	66.8	63.9	46.5
A- 3	89.5	87.5	77.5	76.7	100.2	63.1	52.7	39.6
A- 4	84.1	82.5	38.5	73.4	100.6	57.9	47.1	44.3
A- 5	84.2	78.5	79.4	71.7	75.8	49.9	49.0	43.0
A- 6	71.9	71.0	56.1	69.8	75.8	46.6	36.6	39.9
A- 7	86.9	86.9	42.8	73.1	101.0	66.1	49.1	47.8
A- 8	95.3	91.7	94.0	78.6	79.0	52.7	52.0	46.9
A- 9	85.0	88.8	69.3	78.3	87.5	58.0	40.7	46.9
A-10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A-11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S- 1	59.1	58.8	26.0	55.8	76.8	39.4	32.6	23.9
S- 2	61.3	60.6	26.9	58.2	79.9	40.7	34.3	25.0
S- 3	237.5	226.6	114.0	205.8	283.4	170.7	129.6	124.2
S- 4	57.8	57.6	57.5	52.7	52.5	32.7	32.2	19.8
S- 5	121.6	121.2	120.6	111.7	110.9	69.3	68.5	42.0
S- 6	118.6	115.0	113.7	100.1	102.3	65.3	62.7	58.6
S- 7	54.9	54.1	39.8	48.5	60.4	33.4	26.0	21.7
S- 8	54.5	53.4	41.0	46.8	57.7	33.8	25.3	21.8
S- 9	214.0	196.5	159.4	189.8	211.7	135.7	95.2	121.2
S-10	1.4	1.6	1.6	1.3	1.5	1.2	1.0	1.0
S-11	46.1	45.8	34.6	40.1	49.5	29.0	21.4	18.1
D- 1	1.8	1.9	2.7	2.7	3.7	11.7	15.4	1.7
D- 2	2.4	3.3	1.7	2.7	2.6	12.6	12.6	1.9
D- 3	1.5	1.5	1.4	2.3	2.8	10.9	3.7	1.4
A-12	86.7	88.6	37.7	76.9	95.2	66.1	59.1	47.1
A-13	83.6	88.7	89.1	75.6	76.1	66.6	63.3	45.6
A-14	87.4	85.6	75.6	77.1	99.3	62.2	51.0	39.3

1) 計測点の配置は図 3.2 に示す。　A-i：加速度計（単位：gal）　S-i：ひずみ計（曲げモーメントに変換。単位：kgcm）　D-i：変位計（単位：mm）

表 5.3(2) 実験結果の最大値

(b) 連 続 橋

計測点	単体ランダム波50 gal	単体ランダム波 100 gal	橋脚1ランダム波100 gal	橋脚2ランダム波100 gal	橋脚3ランダム波100 gal	3橋脚ランダム波100 gal	2 Hz ($\delta=0$)	3 Hz ($\delta=0$)	4 Hz ($\delta=0$)
A- 1	57.1	161.2	162.6	2.4	2.7	163.0	103.9	107.2	104.9
A- 2	43.0	130.0	2.4	141.4	1.4	140.0	106.6	101.2	100.5
A- 3	45.9	140.8	1.6	1.6	152.2	151.7	108.4	107.5	108.9
A- 4	56.5	193.5	166.2	61.4	44.9	160.4	95.8	104.7	152.9
A- 5	42.4	139.4	75.1	123.7	59.3	161.7	84.4	108.4	126.2
A- 6	37.5	145.8	50.0	55.3	126.0	129.1	81.0	90.5	122.0
A- 7	60.9	190.1	209.8	59.2	52.4	183.7	111.5	123.9	155.7
A- 8	44.9	144.4	76.6	109.8	60.2	159.4	93.3	110.8	144.2
A- 9	54.9	184.5	61.5	63.3	177.1	189.5	105.2	116.8	139.0
A-10	0.3	1.0	34.3	48.3	110.2	177.2	100.9	138.9	139.6
A-11	0.2	0.8	115.0	118.3	134.6	228.2	87.4	111.8	171.1
S- 1	22.8	95.4	99.9	160.5	68.0	96.1	65.3	73.9	93.0
S- 2	23.8	99.8	102.1	166.7	69.9	99.6	66.6	75.6	95.7
S- 3	135.7	512.2	602.6	835.1	393.6	506.2	306.8	357.2	434.1
S- 4	19.6	86.4	155.7	279.9	140.0	83.9	60.5	72.3	89.8
S- 5	21.0	91.5	165.2	295.2	148.6	88.8	63.7	76.4	95.0
S- 6	109.1	372.6	838.2	1406.7	708.8	510.5	224.1	282.7	335.3
S- 7	17.3	82.0	73.4	158.6	90.0	82.6	60.7	62.9	73.9
S- 8	17.7	81.8	74.0	159.8	90.6	83.1	61.2	62.7	73.0
S- 9	121.3	380.3	420.2	793.1	458.9	403.1	243.9	299.0	334.6
S-10	1.3	5.2	4.1	6.0	5.6	6.0	3.1	3.3	4.1
S-11	14.7	70.3	59.9	131.3	73.9	71.4	52.8	53.6	61.7
D- 1	1.8	6.7	6.7	0.1	0.1	6.7	3.7	1.7	1.0
D- 2	3.8	6.8	0.0	6.9	0.0	6.8	3.8	1.6	0.9
D- 3	2.5	6.0	0.0	0.0	5.9	5.9	3.7	1.7	1.2
A-12	63.0	173.6	94.8	5.4	4.0	92.0	57.7	58.2	56.3
A-13	43.3	126.7	2.2	72.7	2.0	69.4	56.4	53.2	52.4
A-14	44.9	139.7	1.2	1.3	73.8	75.2	53.6	53.3	53.8

計測点	5 Hz ($\delta=0$)	6 Hz ($\delta=0$)	8 Hz ($\delta=0$)	10 Hz ($\delta=0$)	2 Hz ($\delta=\pi/2$)	3 Hz ($\delta=\pi/2$)	4 Hz ($\delta=\pi/2$)	5 Hz ($\delta=\pi/2$)	6 Hz ($\delta=\pi/2$)
A- 1	101.1	94.2	81.5	81.7	106.6	108.7	106.7	103.6	100.1
A- 2	93.8	83.9	63.3	60.9	106.4	106.3	103.3	97.0	87.0
A- 3	102.9	93.7	74.8	68.4	108.5	113.5	113.2	105.7	99.6
A- 4	175.0	173.8	74.8	70.3	90.6	110.3	126.9	160.7	153.3
A- 5	164.2	170.6	181.6	44.8	64.1	57.8	81.5	85.9	128.3
A- 6	128.9	121.0	54.4	50.3	95.9	110.8	112.3	127.0	140.5
A- 7	185.1	199.2	97.0	113.5	106.1	120.2	138.9	171.6	185.2
A- 8	171.5	192.2	159.0	52.4	62.8	59.8	86.1	97.8	115.6
A- 9	160.7	167.0	96.2	88.4	133.3	142.0	142.8	173.2	174.9
A-10	222.0	213.7	161.5	55.3	87.6	92.5	128.3	122.5	191.3
A-11	189.2	167.6	152.3	38.1	77.3	81.2	94.9	120.6	154.4
S- 1	118.6	111.7	35.9	27.1	125.4	89.8	92.6	109.6	110.4
S- 2	121.9	115.0	36.1	27.3	126.4	91.7	95.1	113.3	113.6
S- 3	534.0	520.5	260.9	221.6	670.2	471.7	464.7	507.6	505.8
S- 4	114.4	112.4	48.6	18.5	151.4	51.9	14.5	21.0	40.3
S- 5	120.5	118.6	51.2	19.5	160.0	55.0	15.6	23.3	43.6
S- 6	378.6	408.1	301.2	163.8	872.4	378.2	224.6	109.9	238.3
S- 7	88.1	77.4	30.0	19.3	113.6	76.1	73.4	77.1	85.1
S- 8	88.1	77.5	30.6	19.2	114.8	77.0	73.4	76.7	85.0
S- 9	376.5	376.7	203.4	125.0	578.4	362.2	324.6	371.8	322.5
S-10	3.5	4.2	3.7	3.0	5.5	4.1	3.4	3.1	3.4
S-11	74.8	64.3	23.1	15.3	95.6	65.8	61.7	67.1	72.0
D- 1	0.6	0.4	0.2	0.2	4.3	1.9	1.0	0.7	0.5
D- 2	0.6	0.4	0.2	0.1	4.3	1.7	1.0	0.6	0.4
D- 3	0.5	0.4	0.3	0.4	4.5	2.2	1.0	0.6	0.6
A-12	57.5	51.0	43.9	44.9	60.3	60.7	60.9	60.6	53.5
A-13	49.7	42.1	33.0	33.6	53.4	52.7	49.5	49.5	45.9
A-14	50.3	45.6	35.9	35.1	53.5	56.2	55.7	51.3	47.8

表 5.3(3) 実験結果の最大値

(b) 連 続 橋

計測点	8Hz ($\delta=\pi/2$)	10Hz ($\delta=\pi/2$)	2Hz ($\delta=\pi$)	3Hz ($\delta=\pi$)	4Hz ($\delta=\pi$)	5Hz ($\delta=\pi$)	6Hz ($\delta=\pi$)	8Hz ($\delta=\pi$)	10Hz ($\delta=\pi$)
A- 1	87.2	86.4	107.4	110.8	109.7	109.2	101.3	88.8	88.9
A- 2	65.5	61.8	106.6	107.1	103.4	95.9	87.4	67.2	61.6
A- 3	79.8	70.1	108.0	112.7	111.3	105.8	97.2	77.6	69.1
A- 4	68.8	47.9	68.9	82.0	90.7	106.8	107.9	80.8	115.0
A- 5	55.2	64.5	41.0	44.4	39.5	52.7	95.7	139.0	127.0
A- 6	107.0	66.4	63.6	64.4	83.5	78.5	64.3	66.5	94.2
A- 7	78.8	77.0	76.1	95.4	100.8	129.9	117.6	86.7	144.4
A- 8	61.5	73.3	40.4	44.4	51.0	63.0	98.3	130.0	119.5
A- 9	138.0	117.8	95.1	100.8	103.4	105.4	96.9	99.9	107.2
A-10	86.8	74.3	52.9	46.5	56.8	84.2	102.4	77.7	75.9
A-11	63.7	49.0	39.9	40.5	41.5	63.0	110.0	91.2	70.8
S- 1	43.7	21.4	143.2	44.2	14.3	36.4	44.9	24.7	34.1
S- 2	44.3	20.7	144.9	44.6	13.5	37.6	45.5	25.1	34.3
S- 3	295.6	215.3	928.2	469.6	267.8	226.2	295.7	209.4	169.9
S- 4	20.8	18.8	351.2	162.1	98.5	74.2	49.7	27.1	26.9
S- 5	21.9	20.0	371.5	171.0	104.4	78.3	53.6	28.8	28.5
S- 6	162.9	92.3	1795.5	871.2	574.0	432.5	344.7	187.5	86.5
S- 7	47.9	24.8	147.5	45.2	16.5	24.9	28.9	8.7	22.4
S- 8	47.6	25.0	148.0	44.2	17.1	25.0	28.9	9.2	22.3
S- 9	223.7	194.0	886.5	393.7	238.7	184.0	219.6	162.0	70.8
S-10	3.4	2.9	9.9	6.4	5.0	4.2	4.5	3.9	2.8
S-11	39.8	21.8	117.6	33.0	13.7	19.8	22.7	7.1	19.9
D- 1	0.3	0.2	4.2	1.9	1.1	0.6	0.5	0.3	0.2
D- 2	0.2	0.1	13.7	1.8	1.1	2.2	0.4	0.3	0.5
D- 3	0.2	0.4	4.0	1.6	0.9	0.6	0.7	0.3	0.1
A-12	46.9	50.2	59.8	62.2	57.7	59.7	57.2	49.5	54.2
A-13	33.7	34.3	54.3	52.5	50.3	50.2	44.7	34.0	33.7
A-14	39.2	35.3	53.7	55.9	55.4	51.6	46.8	37.7	35.6

計測点	6, 4, 2 Hz	8, 6, 4 Hz	10, 8, 6 Hz	10, 5, 2 Hz	6, 5, 4 Hz
A- 1	99.7	90.7	87.7	84.7	100.1
A- 2	106.0	91.2	68.9	96.7	98.1
A- 3	109.4	107.7	90.0	105.6	106.1
A- 4	157.1	148.6	146.9	125.0	185.0
A- 5	120.8	145.4	121.9	137.0	145.1
A- 6	100.6	118.6	130.0	107.0	111.6
A- 7	185.4	182.6	180.4	166.0	196.8
A- 8	127.1	147.2	123.1	134.4	154.3
A- 9	116.4	144.6	162.7	134.7	137.1
A-10	265.7	105.3	112.1	97.9	102.2
A-11	144.6	169.0	145.8	149.2	138.4
S- 1	135.9	77.8	54.6	105.2	106.0
S- 2	136.9	80.3	55.2	106.9	109.9
S- 3	681.7	427.0	359.4	631.0	552.6
S- 4	132.3	79.8	47.3	119.4	89.8
S- 5	139.4	84.5	50.2	126.9	93.4
S- 6	791.6	390.0	298.5	647.8	421.9
S- 7	66.4	58.9	62.8	48.2	62.6
S- 8	66.5	58.2	62.2	48.0	61.3
S- 9	444.1	315.5	362.6	347.7	344.4
S-10	4.6	3.6	4.7	5.3	3.9
S-11	53.5	51.1	53.7	41.3	51.5
D- 1	0.7	0.5	0.4	0.2	0.6
D- 2	3.6	0.8	0.6	0.9	0.9
D- 3	5.0	1.9	2.0	2.3	1.8
A-12	56.5	53.5	53.0	55.4	57.9
A-13	54.5	45.5	34.7	50.0	52.3
A-14	54.7	53.4	44.3	52.7	53.1

表 5.3(4) 実験結果の最大値

(b) 連 続 橋

計測点	愛鷹 $\ddot{u}_B(\tau=0)$	愛鷹 $\ddot{u}_B(\tau=0.2\,s)$	愛鷹 $\ddot{u}_B(\tau=0.5\,s)$	愛鷹 $\ddot{u}_A, \ddot{u}_B, \ddot{u}_C$	土研 $\ddot{u}_B(\tau=0)$	土研 $\ddot{u}_B(\tau=0.2\,s)$	土研 $\ddot{u}_B(\tau=0.5\,s)$	土研 $\ddot{u}_A, \ddot{u}_B, \ddot{u}_C$	焼津 $\ddot{u}_B(\tau=0)$
A- 1	157.6	155.3	152.7	71.5	88.6	88.6	86.7	110.2	107.8
A- 2	144.5	144.9	148.3	145.6	92.1	91.2	94.0	89.2	108.7
A- 3	151.2	154.5	155.6	132.6	84.2	86.9	85.7	105.9	108.3
A- 4	171.4	174.7	150.0	86.9	99.3	90.0	101.7	114.9	114.3
A- 5	165.5	126.2	114.9	116.3	94.8	58.3	62.8	108.6	105.0
A- 6	141.5	133.4	123.9	96.5	70.3	63.6	67.9	80.0	79.8
A- 7	178.5	196.8	164.3	96.6	109.5	106.0	113.3	120.1	127.3
A- 8	167.9	130.9	126.6	140.0	96.8	61.4	62.6	108.9	107.8
A- 9	183.4	156.1	162.0	125.7	86.1	74.1	77.4	91.8	114.4
A-10	129.6	133.6	200.5	109.3	97.0	67.2	86.1	212.9	79.5
A-11	191.6	145.7	166.3	139.4	90.9	49.7	66.3	93.0	97.8
S- 1	111.4	111.4	144.5	99.4	63.5	81.6	74.9	66.3	86.5
S- 2	112.7	112.7	145.8	99.7	65.4	83.8	77.4	68.4	88.6
S- 3	563.3	671.9	817.1	616.0	298.3	533.2	416.1	285.1	438.1
S- 4	102.0	181.0	173.8	132.7	48.6	130.3	98.4	91.5	63.8
S- 5	107.2	191.2	184.2	140.9	51.3	137.5	103.8	96.6	67.5
S- 6	394.8	1091.9	879.9	843.7	207.8	804.8	610.2	424.1	428.1
S- 7	94.5	102.9	125.4	78.3	48.3	76.4	86.0	46.4	85.1
S- 8	95.8	103.0	124.6	81.0	49.4	77.7	85.9	46.5	86.3
S- 9	437.1	560.7	612.9	509.1	232.7	498.6	500.0	231.3	409.5
S-10	4.1	5.9	5.5	5.7	2.6	4.4	3.2	2.8	4.2
S-11	80.5	85.6	103.9	66.3	41.6	62.0	70.9	38.5	71.6
D- 1	3.3	3.4	3.3	3.5	3.0	3.0	3.0	4.1	23.5
D- 2	8.5	10.6	11.5	8.6	3.1	3.0	3.1	3.0	24.8
D- 3	4.1	4.9	4.7	5.4	4.8	6.1	6.0	5.8	21.7
A-12	81.0	84.4	83.9	38.1	45.4	48.4	44.5	59.4	58.6
A-13	74.5	75.3	75.0	75.5	48.1	47.3	48.5	46.9	54.2
A-14	74.8	76.6	77.6	65.5	42.1	42.2	42.2	52.0	53.2

計測点	焼津 $\ddot{u}_B(\tau=0.2\,s)$	焼津 $\ddot{u}_B(\tau=0.5\,s)$	焼津 $\ddot{u}_A, \ddot{u}_B, \ddot{u}_C$	単体ランダム波 100 gal
A- 1	109.9	108.0	106.9	167.5
A- 2	112.0	110.8	112.6	136.5
A- 3	108.9	104.6	78.7	141.7
A- 4	115.8	106.1	108.7	171.4
A- 5	93.9	90.8	72.5	125.0
A- 6	86.2	101.3	73.7	120.8
A- 7	124.8	117.8	120.9	196.7
A- 8	92.1	105.7	69.2	142.1
A- 9	123.8	130.2	89.9	161.9
A-10	104.6	79.0	82.9	108.6
A-11	83.8	102.7	66.8	2.1
S- 1	213.6	591.9	376.3	93.4
S- 2	214.0	616.4	375.6	97.3
S- 3	1073.7	3028.6	2044.2	506.5
S- 4	334.2	1145.4	768.7	84.4
S- 5	352.4	1207.0	815.8	89.1
S- 6	1759.2	5738.1	3864.8	348.6
S- 7	208.9	584.5	401.1	71.3
S- 8	212.5	591.9	394.6	72.1
S- 9	1024.8	2856.8	1983.6	359.9
S-10	9.2	22.6	16.0	3.3
S-11	174.0	481.4	321.2	61.5
D- 1	23.6	23.6	30.9	6.0
D- 2	24.8	24.8	24.8	6.2
D- 3	21.7	21.8	7.5	5.4
A-12	64.6	56.7	55.8	89.8
A-13	56.8	55.0	56.5	67.7
A-14	54.8	51.2	38.1	70.2

表 5.4(1) 実験結果の最大値（実効値による）

(a) 橋脚単体

計測点	ランダム波 50 gal	ランダム波 100 gal	2 Hz	3 Hz	4 Hz	5 Hz	6 Hz	8 Hz	10 Hz
A- 1	16.7	61.9	59.7	61.9	63.5	63.8	64.5	65.9	68.2
A- 2	14.8	53.7	66.1	67.1	68.0	68.2	67.6	64.0	58.2
A- 3	14.7	55.5	57.7	64.7	67.2	68.7	69.3	67.0	59.3
A- 4	19.0	67.3	67.7	81.2	102.2	127.2	135.4	71.1	34.2
A- 5	15.7	58.4	74.6	87.7	108.0	127.5	120.9	65.6	36.8
A- 6	15.2	57.4	63.7	79.9	95.2	113.5	116.8	66.8	28.5
A- 7	19.3	70.6	65.8	79.9	101.7	128.2	139.6	78.0	41.8
A- 8	17.0	63.0	75.4	89.5	112.0	133.5	128.8	73.0	43.9
A- 9	17.5	66.3	69.0	87.2	104.8	126.1	131.0	78.1	39.6
A-10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A-11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S- 1	13.1	42.8	58.2	63.8	73.5	86.5	89.0	44.6	23.8
S- 2	13.6	44.3	60.3	66.1	76.0	89.3	91.8	46.1	24.6
S- 3	54.4	194.2	185.5	225.0	284.5	358.0	386.9	207.7	110.6
S- 4	9.6	37.9	64.4	68.5	78.5	89.9	81.0	39.2	20.0
S- 5	10.2	40.0	68.0	72.3	82.9	94.9	85.5	41.4	21.1
S- 6	43.3	160.4	195.3	231.6	286.2	342.6	329.3	184.5	109.6
S- 7	9.8	34.0	49.8	60.9	66.8	76.7	76.2	40.4	18.3
S- 8	9.7	34.3	52.3	59.1	66.7	76.2	75.9	40.2	18.1
S- 9	42.8	161.3	168.6	212.6	255.9	307.9	321.2	191.1	90.2
S-10	0.5	1.3	0.8	1.1	1.4	1.8	1.9	1.6	1.3
S-11	8.2	29.0	45.0	50.7	57.0	64.8	64.0	33.1	14.5
D- 1	1.1	4.3	3.6	1.7	0.9	0.6	0.6	0.6	0.4
D- 2	1.1	4.4	4.0	1.7	0.9	0.6	0.4	0.4	0.3
D- 3	1.0	3.9	3.3	1.6	0.8	0.6	0.4	0.5	0.2
A-12	16.7	62.4	59.2	61.5	63.5	63.7	63.9	64.9	67.6
A-13	14.8	53.8	64.5	65.7	66.9	67.7	68.1	64.1	59.3
A-14	14.5	55.3	57.5	64.5	67.0	68.6	69.2	67.2	58.2

計測点	愛鷹 $\ddot{u}_B$（1回目）	愛鷹 $\ddot{u}_B$（2回目）	愛鷹 $\ddot{u}_A, \ddot{u}_B, \ddot{u}_C$	土研 $\ddot{u}_B$	土研 $\ddot{u}_A, \ddot{u}_B, \ddot{u}_C$	焼津 $\ddot{u}_B$	焼津 $\ddot{u}_A, \ddot{u}_B, \ddot{u}_C$	ランダム波 50 gal
A- 1	14.5	13.7	5.3	8.6	11.1	9.2	10.4	16.4
A- 2	14.3	13.7	12.6	8.4	8.3	9.7	9.9	14.7
A- 3	13.3	12.8	9.4	7.8	9.3	8.8	6.1	14.2
A- 4	22.5	21.2	7.0	11.1	14.3	11.9	12.0	18.1
A- 5	19.7	18.8	17.3	10.4	10.4	11.2	11.4	15.7
A- 6	18.4	17.8	11.4	9.7	11.6	11.0	7.6	15.3
A- 7	22.4	21.1	6.7	10.9	14.2	11.6	11.6	18.6
A- 8	20.5	19.6	18.1	10.9	10.8	11.4	11.6	16.9
A- 9	20.5	19.8	12.9	10.9	13.0	12.2	8.5	17.4
A-10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A-11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S- 1	16.8	15.8	4.6	8.2	10.8	9.5	10.1	13.1
S- 2	17.4	16.4	4.8	8.5	11.2	9.9	10.5	13.6
S- 3	63.1	59.5	19.8	30.8	40.2	33.3	33.3	52.1
S- 4	13.8	13.2	12.1	7.3	7.2	8.8	8.9	9.7
S- 5	29.1	27.9	25.5	15.3	15.1	18.5	18.7	20.5
S- 6	26.4	25.3	23.2	14.0	14.0	15.0	15.5	21.6
S- 7	13.8	13.2	8.6	7.5	8.9	8.9	5.7	11.2
S- 8	13.6	13.1	8.6	7.3	8.7	8.9	5.7	11.2
S- 9	53.9	48.5	31.6	26.8	31.8	32.3	23.0	43.0
S-10	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
S-11	11.6	11.1	7.3	6.2	7.4	7.6	4.8	9.4
D- 1	0.7	0.8	1.1	0.4	0.5	3.6	5.2	1.1
D- 2	0.7	0.8	0.7	0.4	0.4	3.9	4.0	1.1
D- 3	0.6	0.7	0.6	0.4	0.4	3.4	1.6	1.0
A-12	14.4	13.7	5.2	8.5	11.0	9.1	10.3	16.5
A-13	14.1	13.5	12.4	8.3	8.2	9.4	9.6	14.6
A-14	13.2	12.7	9.3	7.7	9.2	8.7	6.0	14.1

表 5.4(2) 実験結果の最大値（実効値による）

(b) 連 続 橋

計測点	単体ランダム波50 gal	単体ランダム波 100 gal	橋脚1ランダム波100 gal	橋脚2ランダム波100 gal	橋脚3ランダム波100 gal	3橋脚ランダム波100 gal	2 Hz (δ = 0)	3 Hz (δ = 0)	4 Hz (δ = 0)
A- 1	16.5	61.5	62.6	0.7	0.7	62.4	60.2	62.5	64.4
A- 2	14.6	53.0	0.8	53.8	0.5	53.6	61.1	62.8	64.2
A- 3	14.8	54.8	0.6	0.5	55.2	55.2	58.9	61.8	63.9
A- 4	19.0	68.8	64.2	22.7	18.6	68.5	72.0	86.6	116.2
A- 5	15.6	58.2	25.4	44.1	23.0	63.8	69.1	85.3	110.8
A- 6	15.9	56.1	17.7	21.3	52.6	56.4	65.8	77.2	98.0
A- 7	19.6	71.9	70.7	23.6	21.0	75.8	75.5	89.7	117.8
A- 8	16.7	62.3	27.4	45.7	24.3	68.1	71.5	87.9	115.4
A- 9	18.9	65.4	23.9	24.5	64.0	69.8	77.0	88.9	109.4
A-10	0.1	0.4	12.2	17.1	44.0	60.4	66.5	80.6	94.2
A-11	0.1	0.2	49.4	47.6	50.9	87.8	69.5	85.0	127.1
S- 1	12.2	43.3	48.4	96.0	40.6	44.6	62.9	70.8	90.8
S- 2	12.7	44.8	49.9	98.8	41.8	46.1	65.2	73.3	93.9
S- 3	54.3	196.1	264.5	491.4	213.2	213.1	218.1	249.8	330.0
S- 4	9.4	38.4	92.7	179.1	85.4	39.3	58.8	69.5	88.8
S- 5	9.9	40.5	98.1	189.4	90.5	41.5	62.0	73.3	93.5
S- 6	43.1	159.4	471.2	896.9	406.2	189.5	169.3	215.1	275.6
S- 7	8.3	36.0	43.6	96.5	42.8	37.5	58.7	62.3	74.4
S- 8	8.2	35.9	43.8	97.0	43.0	37.5	58.4	62.6	73.8
S- 9	45.0	157.4	218.5	469.3	220.4	167.7	183.8	210.3	267.0
S-10	0.5	1.3	1.9	3.5	2.6	2.2	2.1	2.1	2.2
S-11	7.0	30.3	35.6	78.9	35.1	31.6	50.1	53.6	62.9
D- 1	1.0	4.3	4.3	0.0	0.0	4.3	3.6	1.6	0.9
D- 2	1.1	4.5	0.0	4.5	0.0	4.5	3.6	1.5	0.9
D- 3	1.0	4.0	0.0	0.0	4.0	4.0	3.4	1.5	0.9
A-12	18.4	65.1	33.5	1.4	1.7	33.4	30.9	32.4	33.7
A-13	14.6	53.3	0.8	27.3	0.5	27.3	30.5	31.4	32.3
A-14	14.6	55.0	0.4	0.5	27.8	27.8	29.6	30.9	32.0

計測点	5 Hz (δ = 0)	6 Hz (δ = 0)	8 Hz (δ = 0)	10Hz (δ = 0)	2 Hz (δ = π/2)	3 Hz (δ = π/2)	4 Hz (δ = π/2)	5 Hz (δ = π/2)	6 Hz (δ = π/2)
A- 1	65.8	66.6	68.3	70.0	60.5	62.9	64.8	66.3	67.3
A- 2	64.5	63.5	57.8	45.4	60.9	62.8	64.1	64.3	63.8
A- 3	65.0	65.1	60.9	51.8	59.3	62.2	64.5	65.7	66.1
A- 4	147.9	137.8	47.1	50.5	68.3	81.1	100.5	126.2	132.1
A- 5	148.4	151.9	120.6	35.9	40.4	45.6	55.1	69.0	91.9
A- 6	113.4	98.3	39.1	41.7	69.7	80.3	98.3	125.2	143.0
A- 7	152.7	145.7	51.8	61.1	70.6	83.8	103.8	130.4	139.7
A- 8	155.7	161.2	110.8	40.5	40.6	46.4	56.2	70.9	87.2
A- 9	129.0	117.9	53.1	52.7	81.6	91.7	110.6	140.5	161.1
A-10	114.6	112.0	79.3	37.4	41.9	51.1	76.6	110.7	123.7
A-11	150.6	145.5	103.9	31.7	47.5	53.9	65.0	84.3	104.5
S- 1	114.2	108.2	34.1	24.4	117.8	86.8	91.1	106.0	107.9
S- 2	117.8	111.7	35.3	25.3	121.2	89.5	94.1	109.4	111.3
S- 3	436.0	435.5	179.2	132.2	553.4	363.8	356.4	412.7	428.3
S- 4	112.1	107.9	45.0	16.4	148.5	47.0	11.2	19.3	35.7
S- 5	118.1	113.6	47.4	17.3	157.0	49.8	12.0	20.3	37.7
S- 6	351.4	333.0	204.5	96.8	828.6	343.5	164.7	72.7	151.2
S- 7	85.8	73.4	26.9	16.0	108.0	70.2	69.1	79.1	84.5
S- 8	85.6	73.2	27.0	15.9	108.1	70.2	68.5	78.6	84.0
S- 9	334.7	321.1	154.1	74.1	505.3	296.7	258.3	277.6	287.6
S-10	2.3	2.6	2.0	1.7	3.7	2.3	1.9	1.7	1.9
S-11	72.3	61.1	21.7	13.2	90.1	60.2	59.3	67.9	72.1
D- 1	0.5	0.4	0.2	0.1	4.2	1.7	0.9	0.6	0.4
D- 2	0.6	0.4	0.2	0.1	4.2	1.7	1.0	0.6	0.4
D- 3	0.5	0.3	0.2	0.1	4.1	1.7	0.9	0.5	0.4
A-12	36.1	35.6	35.7	37.0	31.0	32.5	34.5	36.9	35.7
A-13	32.8	33.5	29.8	23.8	30.2	31.2	32.0	32.2	32.5
A-14	32.7	32.6	30.4	25.9	29.8	31.3	32.4	33.0	33.3

表 5.4(3) 実験結果の最大値（実効値による）

(b) 連 続 橋

計測点	8Hz ($\delta=\pi/2$)	10Hz ($\delta=\pi/2$)	2Hz ($\delta=\pi$)	3Hz ($\delta=\pi$)	4Hz ($\delta=\pi$)	5Hz ($\delta=\pi$)	6Hz ($\delta=\pi$)	8Hz ($\delta=\pi$)	10Hz ($\delta=\pi$)
A- 1	69.5	71.1	60.3	62.8	64.7	66.4	67.4	69.4	71.5
A- 2	58.6	45.6	61.3	62.9	64.4	64.7	64.0	59.0	44.8
A- 3	63.1	52.2	58.6	61.5	63.7	65.0	65.1	62.1	52.2
A- 4	49.9	27.2	44.8	54.3	64.9	81.1	75.6	62.5	93.0
A- 5	39.4	53.8	19.4	25.2	22.5	37.8	75.6	113.2	114.1
A- 6	94.1	56.9	41.4	49.4	55.4	59.8	52.2	56.2	85.6
A- 7	60.3	38.5	46.8	57.4	67.7	83.4	78.7	64.1	98.1
A- 8	42.2	56.4	21.2	27.6	26.1	41.2	75.0	113.0	114.8
A- 9	107.4	71.6	53.3	59.6	64.4	68.5	60.7	60.5	91.1
A-10	55.4	44.5	23.9	26.5	29.8	50.2	67.4	65.8	50.7
A-11	42.6	33.6	16.8	25.0	24.2	40.5	61.9	69.9	59.2
S- 1	42.8	18.1	135.9	37.8	9.6	33.2	40.9	21.4	30.4
S- 2	44.3	18.6	139.3	38.8	9.6	34.5	42.3	22.2	31.6
S- 3	206.2	140.0	834.4	342.3	175.4	143.0	201.6	145.5	101.6
S- 4	17.0	16.1	347.9	156.1	93.5	68.1	44.0	23.2	25.9
S- 5	18.0	16.9	367.4	164.9	98.8	72.0	46.5	24.2	27.1
S- 6	108.8	48.7	1754.7	828.0	527.7	400.4	278.5	119.6	53.9
S- 7	44.5	23.3	138.4	37.3	12.7	20.4	24.2	6.4	20.9
S- 8	44.2	23.1	138.8	36.8	13.2	20.3	24.3	6.3	20.4
S- 9	159.9	104.8	802.6	324.3	165.0	126.9	159.0	104.8	34.8
S-10	1.8	1.8	7.2	3.9	3.0	2.6	2.6	2.3	1.8
S-11	37.5	19.4	110.5	27.5	9.4	16.9	19.4	6.1	18.5
D- 1	0.2	0.2	4.1	1.7	0.9	0.6	0.4	0.2	0.1
D- 2	0.2	0.1	4.3	1.7	0.9	0.7	0.4	0.2	0.1
D- 3	0.2	0.1	3.9	1.6	0.9	0.6	0.4	0.2	0.1
A-12	36.0	38.7	30.8	32.6	33.6	35.6	36.1	37.1	40.8
A-13	29.7	24.6	30.3	31.2	32.1	32.3	31.9	29.9	23.6
A-14	32.0	25.8	29.5	30.9	32.0	32.6	32.8	31.2	26.6

計測点	6, 4, 2 Hz	8, 6, 4 Hz	10, 8, 6 Hz	10, 5, 2 Hz	6, 5, 4 Hz
A- 1	67.8	69.5	70.5	71.2	67.8
A- 2	65.7	65.0	59.6	65.9	65.9
A- 3	57.9	62.5	63.3	57.8	62.6
A- 4	124.8	87.1	72.1	71.5	126.9
A- 5	75.4	81.4	65.9	77.8	85.0
A- 6	66.5	85.4	95.3	65.9	81.3
A- 7	130.2	94.8	81.5	80.5	132.3
A- 8	78.2	82.6	68.6	80.0	88.1
A- 9	75.0	96.2	110.4	74.7	92.5
A-10	192.8	77.7	87.2	60.2	74.7
A-11	61.8	86.3	84.3	73.9	80.2
S- 1	94.8	56.1	32.7	61.0	85.1
S- 2	97.5	58.0	33.8	63.0	87.9
S- 3	420.5	265.9	177.7	316.1	361.6
S- 4	90.2	46.6	28.6	88.0	53.1
S- 5	95.3	49.2	30.2	92.9	56.0
S- 6	470.1	231.6	163.8	422.5	263.9
S- 7	38.3	47.3	51.1	30.4	50.1
S- 8	38.3	46.7	50.8	30.1	49.5
S- 9	231.6	193.9	224.9	189.9	223.9
S-10	2.5	2.1	2.4	2.5	2.1
S-11	32.3	40.3	43.2	25.8	42.3
D- 1	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4
D- 2	1.3	0.5	0.2	0.6	0.6
D- 3	3.5	0.9	0.6	1.7	0.8
A-12	36.5	37.2	38.9	39.5	36.7
A-13	32.8	32.9	30.2	33.0	33.1
A-14	29.2	31.5	31.8	29.1	31.5

表 5.4(4) 実験結果の最大値（実効値による）

(b) 連 続 橋

計測点	爰鷹 $\ddot{u}_B(\tau=0)$	爰鷹 $\ddot{u}_B(\tau=0.2\,s)$	爰鷹 $\ddot{u}_B(\tau=0.5\,s)$	爰鷹 $\ddot{u}_A, \ddot{u}_B, \ddot{u}_C$	土研 $\ddot{u}_B(\tau=0)$	土研 $\ddot{u}_B(\tau=0.2\,s)$	土研 $\ddot{u}_B(\tau=0.5\,s)$	土研 $\ddot{u}_A, \ddot{u}_B, \ddot{u}_C$	焼津 $\ddot{u}_B(\tau=0)$
A- 1	23.4	23.2	24.0	9.5	9.1	8.6	8.6	11.0	16.6
A- 2	23.2	23.1	24.0	23.3	8.7	8.2	8.2	8.2	16.9
A- 3	21.6	21.4	22.2	16.9	8.0	7.6	7.6	9.1	15.3
A- 4	39.7	36.5	38.0	22.2	16.9	14.7	15.2	18.0	28.4
A- 5	34.7	24.9	26.0	22.4	12.1	8.3	8.9	12.6	22.0
A- 6	29.6	29.1	29.3	20.4	10.8	9.4	9.8	11.3	19.8
A- 7	44.2	41.4	42.8	29.3	22.1	19.2	19.5	22.7	35.8
A- 8	36.7	26.4	27.5	23.8	13.6	9.6	10.0	14.1	24.1
A- 9	37.7	36.3	37.0	27.9	17.1	15.1	15.7	17.7	32.0
A-10	27.5	34.5	32.1	25.1	14.6	12.3	12.0	35.3	19.3
A-11	37.8	28.5	29.2	24.1	13.8	11.0	11.0	13.8	22.8
S- 1	25.9	27.8	33.6	24.7	8.5	10.1	11.8	8.6	26.5
S- 2	26.8	28.7	34.7	25.5	8.7	10.4	12.2	8.9	27.3
S- 3	129.1	159.1	182.7	157.4	69.8	81.6	80.7	68.9	142.9
S- 4	23.0	32.9	49.8	42.1	7.0	19.2	19.1	10.7	20.9
S- 5	24.3	34.8	52.6	44.5	7.4	20.3	20.2	11.3	22.1
S- 6	93.3	197.8	264.2	229.5	35.5	117.2	105.4	53.2	119.7
S- 7	19.3	22.1	29.6	21.9	6.3	9.2	10.9	6.1	24.4
S- 8	19.1	21.7	29.5	22.0	6.3	9.2	10.9	6.1	24.4
S- 9	96.0	121.2	154.5	130.5	42.6	63.9	65.0	39.7	114.8
S-10	1.4	1.5	1.7	1.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.8
S-11	16.4	18.2	24.4	18.0	5.4	7.4	8.9	5.2	20.4
D- 1	1.3	1.3	1.3	1.7	0.4	0.4	0.4	0.5	6.8
D- 2	1.5	1.5	1.5	1.4	0.4	0.4	0.4	0.4	7.1
D- 3	1.2	1.3	1.4	1.3	0.5	0.5	0.5	0.6	6.3
A-12	12.7	12.6	13.0	6.2	5.5	5.2	5.3	6.4	9.6
A-13	11.7	11.6	12.0	11.7	4.4	4.1	4.1	4.2	8.4
A-14	10.9	10.7	11.2	8.5	4.1	3.8	3.8	4.6	7.7

計測点	焼津 $\ddot{u}_B(\tau=0.2\,s)$	焼津 $\ddot{u}_B(\tau=0.5\,s)$	焼津 $\ddot{u}_A, \ddot{u}_B, \ddot{u}_C$	単体ランダム波 100 gal
A- 1	17.2	18.0	18.7	62.5
A- 2	17.5	18.1	16.8	53.7
A- 3	15.8	16.5	10.8	55.5
A- 4	28.1	25.2	26.3	67.5
A- 5	18.9	15.7	14.5	57.1
A- 6	19.1	18.5	14.1	55.8
A- 7	34.9	30.6	31.8	71.8
A- 8	19.9	17.2	16.4	61.7
A- 9	30.1	28.7	26.0	65.9
A-10	21.9	17.3	20.0	28.0
A-11	18.5	18.6	16.8	1.0
S- 1	63.1	188.3	118.0	41.1
S- 2	64.9	192.4	120.8	42.5
S- 3	328.6	979.2	627.8	197.0
S- 4	103.4	380.9	240.6	36.9
S- 5	109.3	402.6	254.1	38.9
S- 6	547.3	1883.2	1199.2	158.3
S- 7	63.8	192.5	123.8	31.8
S- 8	64.1	192.9	123.9	31.5
S- 9	307.2	935.3	596.8	159.5
S-10	2.7	7.3	4.7	1.3
S-11	52.4	156.6	100.8	26.7
D- 1	7.0	7.2	9.4	4.2
D- 2	7.4	7.6	7.1	4.4
D- 3	6.5	6.7	2.9	3.9
A-12	9.9	10.1	10.3	33.2
A-13	8.7	9.0	8.3	27.2
A-14	8.0	8.3	5.4	27.9

表 5.5 応答倍率の定義

橋脚	観測点	応答倍率
1	A 1	A1/A1
	A 4	A4/A1
	A 7	A7/A1
	S 1	S1/A1
	S 2	S2/A1
	S 3	S3/A1
2	A 2	A2/A2
	A 5	A5/A2
	A 8	A8/A2
	S 4	S4/A2
	S 5	S5/A2
	S 6	S6/A2
3	A 3	A3/A3
	A 6	A6/A3
	A 9	A9/A3
	S 7	S7/A3
	S 8	S8/A3
	S 9	S9/A3
	S 10	S10/A3
	S 11	S11/A3
1および2の中間	A 10	A10/{(A1+A2)/2}
2および3の中間	A 11	A11/{(A2+A3)/2}

表5.6(1) 応 答 倍 率

(a) 橋脚単体

計測点	2Hz	3Hz	4Hz	5Hz	6Hz	8Hz	10Hz
A- 1/A- 1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 2/A- 2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 3/A- 3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 4/A- 1	1.133	1.312	1.609	1.995	2.100	1.079	0.502
A- 5/A- 2	1.129	1.306	1.589	1.871	1.790	1.024	0.632
A- 6/A- 3	1.104	1.234	1.418	1.652	1.686	0.998	0.481
A- 7/A- 1	1.102	1.291	1.600	2.010	2.165	1.184	0.613
A- 8/A- 2	1.142	1.334	1.647	1.958	1.907	1.140	0.753
A- 9/A- 3	1.196	1.348	1.561	1.837	1.892	1.165	0.668
A-10/A1,2[1]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A-11/A2,3[2]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S- 1/A- 1	0.974	1.031	1.157	1.357	1.381	0.677	0.349
S- 2/A- 1	1.010	1.068	1.197	1.401	1.425	0.700	0.361
S- 3/A- 1	3.106	3.635	4.477	5.614	6.002	3.153	1.622
S- 4/A- 2	0.975	1.020	1.155	1.318	1.199	0.613	0.343
S- 5/A- 2	1.030	1.076	1.219	1.392	1.265	0.646	0.361
S- 6/A- 2	2.957	3.450	4.210	5.026	4.875	2.882	1.882
S- 7/A- 3	0.864	0.941	0.995	1.117	1.100	0.603	0.308
S- 8/A- 3	0.905	0.912	0.993	1.110	1.095	0.599	0.306
S- 9/A- 3	2.921	3.285	3.811	4.484	4.638	2.852	1.521
S-10/A- 3	0.014	0.017	0.021	0.026	0.028	0.024	0.021
S-11/A- 3	0.779	0.784	0.849	0.943	0.923	0.495	0.244

計測点	愛鷹 $\ddot{u}_B$	愛鷹 $\ddot{u}_A, \ddot{u}_B, \ddot{u}_C$	土研 $\ddot{u}_B$	土研 $\ddot{u}_A, \ddot{u}_B, \ddot{u}_C$	焼津 $\ddot{u}_B$	焼津 $\ddot{u}_A, \ddot{u}_B, \ddot{u}_C$
A- 1/A- 1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 2/A- 2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 3/A- 3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 4/A- 1	0.925	0.978	0.944	1.047	0.850	0.743
A- 5/A- 2	0.902	0.896	0.953	1.000	0.748	0.766
A- 6/A- 3	0.811	0.724	0.910	0.757	0.737	0.694
A- 7/A- 1	0.975	1.087	0.941	1.051	0.971	0.775
A- 8/A- 2	1.055	1.060	1.045	1.043	0.788	0.813
A- 9/A- 3	1.014	0.895	1.021	0.873	0.919	0.773
A-10/A1,2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A-11/A2,3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S- 1/A- 1	0.660	0.659	0.717	0.800	0.579	0.514
S- 2/A- 1	0.679	0.682	0.749	0.831	0.597	0.541
S- 3/A- 1	2.541	2.895	2.648	2.949	2.505	2.046
S- 4/A- 2	0.663	0.648	0.701	0.693	0.489	0.503
S- 5/A- 2	1.394	1.360	1.486	1.463	1.037	1.072
S- 6/A- 2	1.322	1.283	1.331	1.350	0.977	0.981
S- 7/A- 3	0.618	0.513	0.632	0.603	0.529	0.494
S- 8/A- 3	0.610	0.529	0.610	0.576	0.535	0.480
S- 9/A- 3	2.245	2.057	2.475	2.113	2.150	1.806
S-10/A- 3	0.018	0.021	0.017	0.015	0.020	0.019
S-11/A- 3	0.524	0.447	0.523	0.495	0.459	0.405

1) A1, 2=(A1+A2)/2　　2) A2, 3=(A2+A3)/2

表5.6(2) 応 答 倍 率

(b) 連 続 橋

計測点	2Hz ($\delta=0$)	2Hz ($\delta=\pi/2$)	2Hz ($\delta=\pi$)	3Hz ($\delta=0$)	3Hz ($\delta=\pi/2$)	3Hz ($\delta=\pi$)	4Hz ($\delta=0$)	4Hz ($\delta=\pi/2$)	4Hz ($\delta=\pi$)
A- 1/A- 1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 2/A- 2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 3/A- 3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 4/A- 1	1.196	1.128	0.743	1.385	1.290	0.866	1.804	1.550	1.003
A- 5/A- 2	1.132	0.662	0.317	1.358	0.725	0.400	1.725	0.860	0.349
A- 6/A- 3	1.116	1.177	0.707	1.249	1.291	0.803	1.535	1.525	0.869
A- 7/A- 1	1.256	1.166	0.777	1.434	1.333	0.914	1.829	1.601	1.045
A- 8/A- 2	1.170	0.667	0.346	1.400	0.739	0.438	1.797	0.877	0.405
A- 9/A- 3	1.307	1.377	0.909	1.439	1.474	0.969	1.712	1.716	1.010
A-10/A1,2	1.097	0.689	0.393	1.286	0.813	0.421	1.464	1.189	0.462
A-11/A2,3	1.159	0.790	0.280	1.365	0.863	0.402	1.985	1.011	0.378
S- 1/A- 1	1.045	1.946	2.254	1.132	1.380	0.603	1.410	1.406	0.148
S- 2/A- 1	1.083	2.001	2.311	1.172	1.424	0.618	1.458	1.451	0.149
S- 3/A- 1	3.625	9.141	13.841	3.996	5.784	5.453	5.124	5.499	2.710
S- 4/A- 2	0.963	2.436	5.678	1.107	0.748	2.482	1.382	0.174	1.452
S- 5/A- 2	1.015	2.576	5.996	1.167	0.792	2.622	1.456	0.187	1.534
S- 6/A- 2	2.773	13.596	28.636	3.425	5.468	13.166	4.291	2.571	8.193
S- 7/A- 3	0.995	1.822	2.361	1.009	1.128	0.606	1.165	1.071	0.199
S- 8/A- 3	0.991	1.824	2.369	1.014	1.129	0.599	1.155	1.062	0.208
S- 9/A- 3	3.119	8.525	13.698	3.404	4.770	5.275	4.181	4.006	2.589
S-10/A- 3	0.036	0.063	0.122	0.034	0.037	0.063	0.034	0.029	0.046
S-11/A- 3	0.850	1.520	1.886	0.868	0.967	0.446	0.984	0.919	0.147

計測点	5Hz ($\delta=0$)	5Hz ($\delta=\pi/2$)	5Hz ($\delta=\pi$)	6Hz ($\delta=0$)	6Hz ($\delta=\pi/2$)	6Hz ($\delta=\pi$)	8Hz ($\delta=0$)	8Hz ($\delta=\pi/2$)	8Hz ($\delta=\pi$)
A- 1/A- 1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 2/A- 2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 3/A- 3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 4/A- 1	2.246	1.904	1.221	2.068	1.962	1.123	0.690	0.718	0.901
A- 5/A- 2	2.300	1.072	0.585	2.393	1.440	1.182	2.089	0.673	1.920
A- 6/A- 3	1.744	1.905	0.921	1.510	2.165	0.802	0.642	1.492	0.904
A- 7/A- 1	2.318	1.968	1.257	2.187	2.075	1.168	0.760	0.867	0.923
A- 8/A- 2	2.413	1.101	0.637	2.538	1.367	1.171	1.918	0.720	1.917
A- 9/A- 3	1.984	2.137	1.055	1.811	2.438	0.933	0.872	1.703	0.974
A-10/A1,2	1.758	1.695	0.767	1.722	1.887	1.026	1.259	0.865	1.025
A-11/A2,3	2.325	1.297	0.625	2.263	1.610	0.959	1.752	0.700	1.154
S- 1/A- 1	1.734	1.600	0.500	1.625	1.604	0.607	0.500	0.615	0.308
S- 2/A- 1	1.789	1.650	0.520	1.676	1.654	0.628	0.517	0.637	0.319
S- 3/A- 1	6.622	6.225	2.155	6.538	6.363	2.992	2.624	2.968	2.097
S- 4/A- 2	1.738	0.299	1.054	1.699	0.560	0.688	0.779	0.291	0.393
S- 5/A- 2	1.831	0.315	1.113	1.790	0.591	0.726	0.820	0.307	0.411
S- 6/A- 2	5.445	1.129	6.194	5.244	2.370	4.353	3.541	1.857	2.027
S- 7/A- 3	1.320	1.203	0.315	1.127	1.279	0.372	0.443	0.705	0.103
S- 8/A- 3	1.316	1.195	0.313	1.125	1.272	0.373	0.443	0.700	0.102
S- 9/A- 3	5.148	4.224	1.953	4.933	4.354	2.442	2.531	2.535	1.688
S-10/A- 3	0.035	0.026	0.040	0.039	0.029	0.040	0.033	0.029	0.037
S-11/A- 3	1.112	1.033	0.261	0.939	1.092	0.298	0.356	0.594	0.098

表5.6(3) 応 答 倍 率

(b) 連 続 橋

計測点	10Hz ($\delta=0$)	10Hz ($\delta=\pi/2$)	10Hz ($\delta=\pi$)	6,4,2Hz	8,6,4Hz	10,8,6Hz	10,5,2Hz	6,5,4Hz
A- 1/A- 1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 2/A- 2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 3/A- 3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 4/A- 1	0.721	0.382	1.300	1.841	1.252	1.023	1.004	1.871
A- 5/A- 2	0.790	1.180	2.545	1.147	1.253	1.105	1.181	1.289
A- 6/A- 3	0.806	1.089	1.639	1.150	1.366	1.504	1.141	1.298
A- 7/A- 1	0.873	0.542	1.371	1.920	1.363	1.156	1.130	1.951
A- 8/A- 2	0.891	1.236	2.560	1.190	1.270	1.152	1.214	1.336
A- 9/A- 3	1.018	1.372	1.744	1.296	1.539	1.742	1.293	1.477
A-10/A1,2	0.649	0.762	0.871	2.887	1.156	1.340	0.878	1.116
A-11/A2,3	0.653	0.688	1.219	0.999	1.354	1.370	1.195	1.247
S- 1/A- 1	0.349	0.254	0.425	1.398	0.807	0.463	0.856	1.255
S- 2/A- 1	0.361	0.261	0.442	1.438	0.834	0.479	0.884	1.296
S- 3/A- 1	1.889	1.970	1.420	6.201	3.825	2.520	4.437	5.332
S- 4/A- 2	0.361	0.352	0.577	1.373	0.718	0.480	1.335	0.806
S- 5/A- 2	0.380	0.370	0.604	1.450	0.757	0.506	1.410	0.850
S- 6/A- 2	2.130	1.068	1.201	7.152	3.563	2.747	6.410	4.003
S- 7/A- 3	0.310	0.446	0.400	0.662	0.756	0.806	0.526	0.800
S- 8/A- 3	0.308	0.442	0.391	0.662	0.747	0.802	0.522	0.790
S- 9/A- 3	1.432	2.007	0.665	4.003	3.100	3.550	3.287	3.576
S-10/A- 3	0.033	0.034	0.035	0.044	0.033	0.039	0.044	0.033
S-11/A- 3	0.254	0.372	0.354	0.558	0.645	0.682	0.446	0.676

表5.6(4) 応答倍率

(b) 連続橋

計測点	$\ddot{u}_B(\tau=0)$ 愛鷹	$\ddot{u}_B(\tau=0.2\,s)$ 愛鷹	$\ddot{u}_B(\tau=0.5\,s)$ 愛鷹	$\ddot{u}_A, \ddot{u}_B, \ddot{u}_C$ 愛鷹	$\ddot{u}_B(\tau=0)$ 土研	$\ddot{u}_B(\tau=0.2\,s)$ 土研	$\ddot{u}_B(\tau=0.5\,s)$ 土研	$\ddot{u}_A, \ddot{u}_B, \ddot{u}_C$ 土研
A- 1/A- 1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 2/A- 2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 3/A- 3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 4/A- 1	1.088	1.125	0.983	1.215	1.121	1.017	1.173	1.043
A- 5/A- 2	1.146	0.871	0.775	0.799	1.029	0.640	0.668	1.217
A- 6/A- 3	0.936	0.864	0.796	0.728	0.835	0.732	0.792	0.756
A- 7/A- 1	1.133	1.267	1.076	1.350	1.235	1.197	1.307	1.090
A- 8/A- 2	1.162	0.903	0.854	0.962	1.051	0.674	0.666	1.221
A- 9/A- 3	1.213	1.010	1.041	0.948	1.023	0.853	0.903	0.867
A-10/A1,2	0.858	0.890	1.333	1.007	1.073	0.748	0.953	2.135
A-11/A2,3	1.296	0.973	1.094	1.002	1.032	0.558	0.738	0.953
S- 1/A- 1	0.707	0.717	0.946	1.391	0.717	0.921	0.864	0.602
S- 2/A- 1	0.715	0.725	0.955	1.395	0.738	0.946	0.893	0.620
S- 3/A- 1	3.575	4.326	5.352	8.616	3.366	6.020	4.799	2.587
S- 4/A- 2	0.706	1.249	1.172	0.912	0.528	1.429	1.047	1.026
S- 5/A- 2	0.742	1.319	1.243	0.968	0.557	1.508	1.104	1.083
S- 6/A- 2	2.733	7.535	5.935	5.795	2.256	8.827	6.491	4.755
S- 7/A- 3	0.625	0.666	0.806	0.591	0.574	0.879	1.004	0.439
S- 8/A- 3	0.634	0.667	0.801	0.611	0.587	0.894	1.002	0.439
S- 9/A- 3	2.892	3.629	3.938	3.840	2.765	5.737	5.834	2.184
S-10/A- 3	0.027	0.039	0.036	0.043	0.031	0.051	0.037	0.027
S-11/A- 3	0.532	0.554	0.668	0.500	0.494	0.714	0.827	0.363

計測点	$\ddot{u}_B(\tau=0)$ 焼津	$\ddot{u}_B(\tau=0.2\,s)$ 焼津	$\ddot{u}_B(\tau=0.5\,s)$ 焼津	$\ddot{u}_A, \ddot{u}_B, \ddot{u}_C$ 焼津
A- 1/A- 1	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 2/A- 2	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 3/A- 3	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 4/A- 1	1.060	1.054	0.983	1.016
A- 5/A- 2	0.966	0.838	0.820	0.643
A- 6/A- 3	0.736	0.791	0.969	0.937
A- 7/A- 1	1.181	1.136	1.091	1.131
A- 8/A- 2	0.992	0.822	0.955	0.615
A- 9/A- 3	1.057	1.136	1.245	1.143
A-10/A1,2	0.734	0.942	0.722	0.756
A-11/A2,3	0.901	0.759	0.954	0.698
S- 1/A- 1	0.803	1.944	5.482	3.520
S- 2/A- 1	0.822	1.948	5.709	3.513
S- 3/A- 1	4.064	9.774	28.053	19.122
S- 4/A- 2	0.587	2.984	10.341	6.827
S- 5/A- 2	0.621	3.146	10.897	7.245
S- 6/A- 2	3.938	15.703	51.805	34.322
S- 7/A- 3	0.786	1.918	5.589	5.098
S- 8/A- 3	0.797	1.951	5.660	5.015
S- 9/A- 3	3.781	9.407	27.320	25.211
S-10/A- 3	0.039	0.085	0.216	0.203
S-11/A- 3	0.661	1.598	4.604	4.082

表5.7(1) 応 答 倍 率 比

計測点	2Hz (δ=0)	2Hz (δ=π/2)	2Hz (δ=π)	3Hz (δ=0)	3Hz (δ=π/2)	3Hz (δ=π)	4Hz (δ=0)	4Hz (δ=π/2)	4Hz (δ=π)
A- 1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 4	1.056	0.996	0.656	1.055	0.983	0.660	1.121	0.964	0.623
A- 5	1.003	0.586	0.281	1.040	0.555	0.306	1.086	0.541	0.219
A- 6	1.011	1.065	0.640	1.012	1.046	0.651	1.082	1.076	0.613
A- 7	1.140	1.058	0.705	1.111	1.033	0.708	1.143	1.001	0.653
A- 8	1.024	0.584	0.303	1.050	0.554	0.329	1.091	0.532	0.246
A- 9	1.093	1.151	0.760	1.068	1.094	0.719	1.097	1.099	0.647
A-10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A-11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S- 1	1.073	1.998	2.314	1.098	1.338	0.584	1.219	1.215	0.128
S- 2	1.073	1.982	2.289	1.098	1.333	0.579	1.219	1.213	0.124
S- 3	1.167	2.943	4.457	1.099	1.591	1.500	1.145	1.228	0.605
S- 4	0.988	2.498	5.822	1.086	0.733	2.433	1.197	0.151	1.257
S- 5	0.985	2.502	5.822	1.084	0.736	2.435	1.195	0.153	1.259
S- 6	0.938	4.598	9.684	0.993	1.585	3.816	1.019	0.611	1.946
S- 7	1.153	2.110	2.734	1.072	1.199	0.644	1.172	1.077	0.200
S- 8	1.095	2.015	2.617	1.111	1.237	0.657	1.163	1.069	0.209
S- 9	1.068	2.919	4.689	1.036	1.452	1.606	1.097	1.051	0.679
S-10	2.545	4.471	8.691	1.952	2.145	3.671	1.582	1.359	2.166
S-11	1.091	1.950	2.420	1.108	1.234	0.570	1.158	1.082	0.173

計測点	5Hz (δ=0)	5Hz (δ=π/2)	5Hz (δ=π)	6Hz (δ=0)	6Hz (δ=π/2)	6Hz (δ=π)	8Hz (δ=0)	8Hz (δ=π/2)	8Hz (δ=π)
A- 1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 4	1.126	0.954	0.612	0.985	0.934	0.535	0.640	0.666	0.835
A- 5	1.229	0.573	0.313	1.337	0.804	0.660	2.039	0.657	1.874
A- 6	1.056	1.153	0.557	0.896	1.284	0.475	0.644	1.496	0.907
A- 7	1.153	0.979	0.625	1.010	0.959	0.540	0.642	0.733	0.780
A- 8	1.233	0.562	0.325	1.331	0.717	0.614	1.682	0.632	1.682
A- 9	1.080	1.164	0.574	0.957	1.289	0.493	0.748	1.462	0.836
A-10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A-11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S- 1	1.278	1.179	0.369	1.177	1.161	0.439	0.738	0.908	0.455
S- 2	1.277	1.178	0.371	1.177	1.161	0.441	0.738	0.909	0.456
S- 3	1.180	1.109	0.384	1.089	1.060	0.499	0.832	0.941	0.665
S- 4	1.318	0.227	0.799	1.417	0.467	0.574	1.272	0.475	0.642
S- 5	1.316	0.226	0.800	1.415	0.467	0.574	1.269	0.476	0.636
S- 6	1.083	0.225	1.232	1.076	0.486	0.893	1.229	0.645	0.704
S- 7	1.181	1.077	0.281	1.024	1.162	0.338	0.734	1.169	0.171
S- 8	1.186	1.077	0.282	1.027	1.162	0.340	0.739	1.168	0.170
S- 9	1.148	0.942	0.436	1.064	0.939	0.526	0.888	0.889	0.592
S-10	1.318	0.978	1.523	1.398	1.019	1.436	1.406	1.227	1.577
S-11	1.179	1.095	0.276	1.017	1.182	0.323	0.719	1.202	0.198

表5.7(2) 応 答 倍 率 比

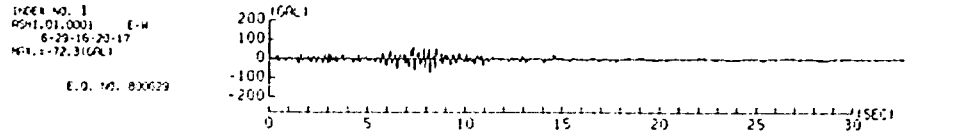
計測点	10Hz ($\delta=0$)	10Hz ($\delta=\pi/2$)	10Hz ($\delta=\pi$)
A- 1	1.000	1.000	1.000
A- 2	1.000	1.000	1.000
A- 3	1.000	1.000	1.000
A- 4	1.436	0.762	2.589
A- 5	1.249	1.866	4.025
A- 6	1.677	2.265	3.411
A- 7	1.425	0.884	2.238
A- 8	1.183	1.640	3.398
A- 9	1.524	2.054	2.612
A-10	0.0	0.0	0.0
A-11	0.0	0.0	0.0
S- 1	1.000	0.729	1.219
S- 2	0.999	0.723	1.224
S- 3	1.164	1.214	0.875
S- 4	1.053	1.028	1.684
S- 5	1.051	1.024	1.671
S- 6	1.132	0.567	0.638
S- 7	1.004	1.447	1.297
S- 8	1.006	1.445	1.278
S- 9	0.942	1.319	0.437
S-10	1.560	1.577	1.634
S-11	1.041	1.521	1.450

	6, 4, 2 Hz	8, 6, 4 Hz	10, 8, 6 Hz	10, 5, 2 Hz	6, 5, 4 Hz
A－4	0.877	1.161	2.042	2.004	0.892
A－5	0.723	0.700	1.079	0.632	0.690
A－6	1.041	0.964	0.894	1.033	0.917
A－7	0.887	1.152	1.886	1.845	0.902
A－8	0.723	0.667	1.009	0.620	0.683
A－9	1.083	0.987	0.923	1.080	0.947
S－1	1.013	1.192	1.330	2.456	0.909
S－2	1.011	1.193	1.327	2.452	0.911
S－3	1.034	1.214	1.554	2.737	0.889
S－4	1.190	0.598	0.784	1.013	0.612
S－5	1.190	0.598	0.784	1.014	0.611
S－6	1.700	0.731	0.953	1.276	0.797
S－7	0.766	0.762	0.734	0.610	0.805
S－8	0.730	0.752	0.733	0.575	0.797
S－9	1.369	0.815	0.767	1.124	0.939

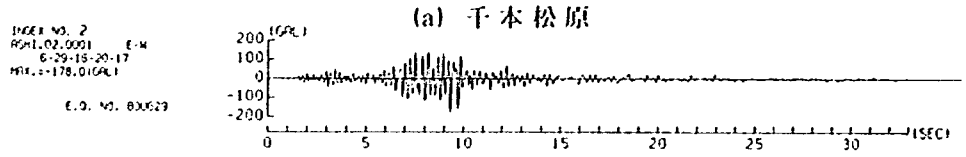
表5.7(3) 応答倍率比

計測点	愛鷹 $\ddot{u}_B(\tau=0)$	愛鷹 $\ddot{u}_B(\tau=0.2\,s)$	愛鷹 $\ddot{u}_B(\tau=0.5\,s)$	愛鷹 u_A, u_B, u_C
A- 1	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 2	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 3	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 4	1.176	1.216	1.062	1.243
A- 5	1.270	0.966	0.859	0.891
A- 6	1.154	1.065	0.981	1.006
A- 7	1.162	1.300	1.104	1.242
A- 8	1.101	0.856	0.809	0.908
A- 9	1.196	0.996	1.026	1.060
A-10	0.0	0.0	0.0	0.0
A-11	0.0	0.0	0.0	0.0
S- 1	1.071	1.087	1.434	2.109
S- 2	1.053	1.068	1.407	2.044
S- 3	1.407	1.703	2.107	2.976
S- 4	1.065	1.884	1.768	1.407
S- 5	0.533	0.947	0.892	0.712
S- 6	2.067	5.699	4.489	4.518
S- 7	1.012	1.078	1.305	1.151
S- 8	1.040	1.094	1.314	1.155
S- 9	1.288	1.617	1.755	1.867
S-10	1.469	2.098	1.938	2.063
S-11	1.017	1.058	1.275	1.119

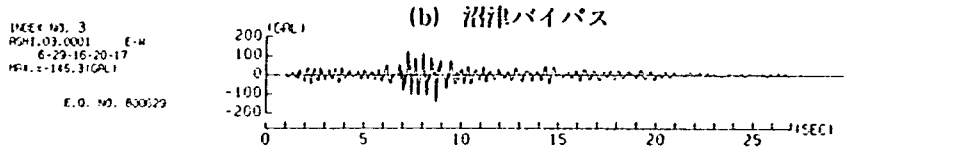
計測点	土研 $\ddot{u}_B(\tau=0)$	土研 $\ddot{u}_B(\tau=0.2\,s)$	土研 $\ddot{u}_B(\tau=0.5\,s)$	土研 $\ddot{u}_A, \ddot{u}_B, \ddot{u}_C$	焼津 $\ddot{u}_B(\tau=0)$	焼津 $\ddot{u}_B(\tau=0.2\,s)$	焼津 $\ddot{u}_B(\tau=0.5\,s)$	焼津 u_A, u_B, u_C
A- 1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
A- 4	1.187	1.077	1.242	0.996	1.246	1.240	1.156	1.367
A- 5	1.079	0.671	0.700	1.217	1.292	1.122	1.097	0.840
A- 6	0.917	0.803	0.870	0.999	0.999	1.073	1.315	1.350
A- 7	1.313	1.272	1.390	1.037	1.216	1.170	1.123	1.459
A- 8	1.006	0.644	0.637	1.171	1.258	1.043	1.211	0.756
A- 9	1.002	0.835	0.884	0.992	1.150	1.236	1.355	1.479
A-10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A-11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
S- 1	0.999	1.284	1.204	0.753	1.387	3.358	9.469	6.847
S- 2	0.986	1.264	1.193	0.746	1.376	3.261	9.560	6.493
S- 3	1.271	2.273	1.812	0.877	1.622	3.901	11.197	9.348
S- 4	0.753	2.038	1.493	1.482	1.199	6.098	21.133	13.561
S- 5	0.375	1.015	0.743	0.740	0.599	3.034	10.512	6.758
S- 6	1.695	6.632	4.878	3.522	4.029	16.066	53.002	35.002
S- 7	0.909	1.392	1.589	0.727	1.485	3.623	10.557	10.328
S- 8	0.962	1.464	1.642	0.762	1.491	3.649	10.589	10.440
S- 9	1.118	2.318	2.358	1.034	1.759	4.376	12.709	13.956
S-10	1.860	3.007	2.216	1.817	1.983	4.326	11.055	10.451
S-11	0.945	1.364	1.581	0.734	1.439	3.478	10.022	10.079



(a) 千本松原

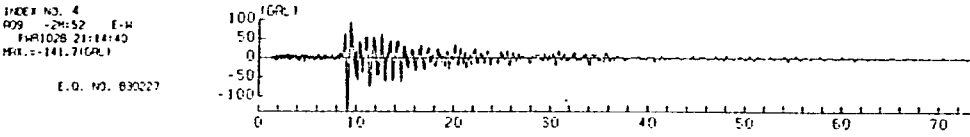


(b) 沼津バイパス

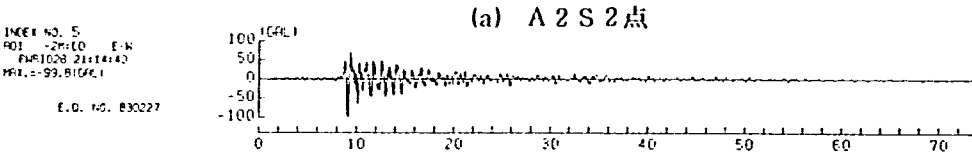


(c) 今沢小学校

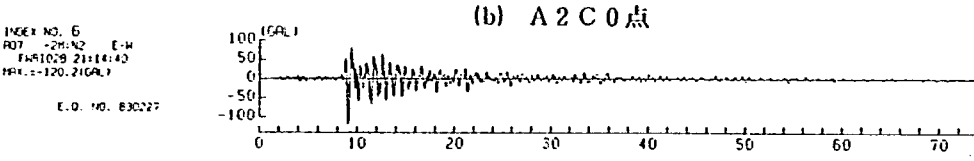
図 5.1　愛鷹記録の加速度波形



(a) A2S2点

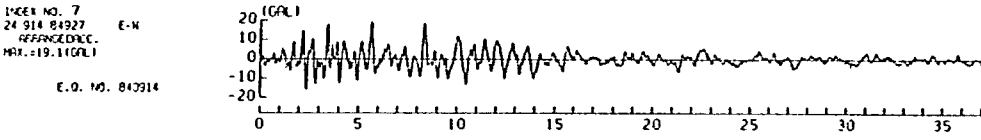


(b) A2C0点

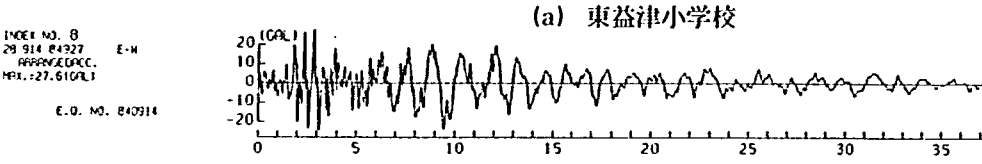


(c) A2N2点

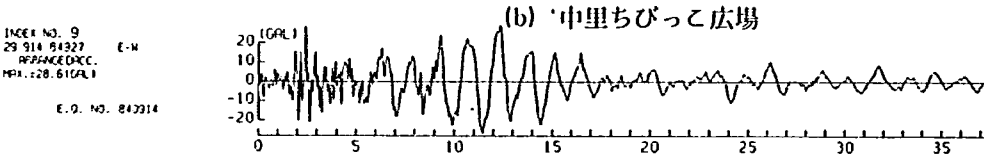
図 5.2　土研記録の加速度波形



(a) 東益津小学校

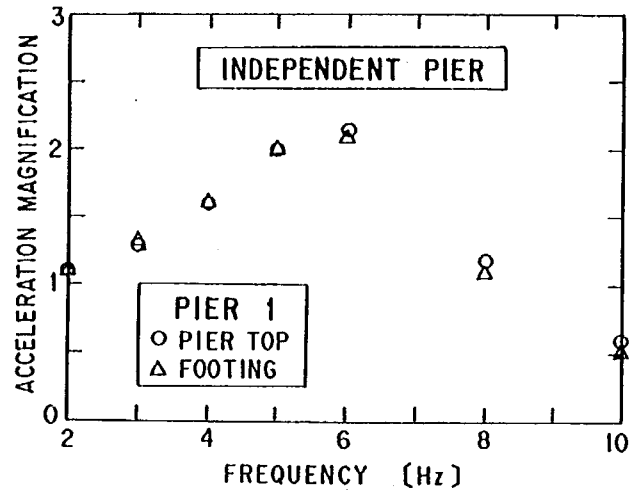


(b) 中里ちびっこ広場

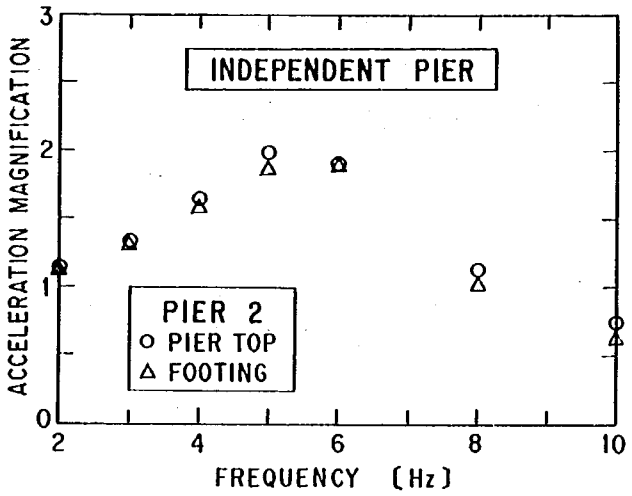


(c) 朝比奈川橋

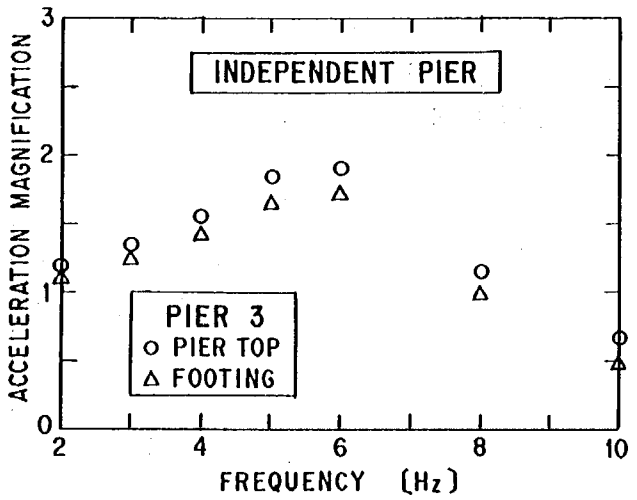
図 5.3　焼津記録の加速度波形



(a) 橋 脚 1

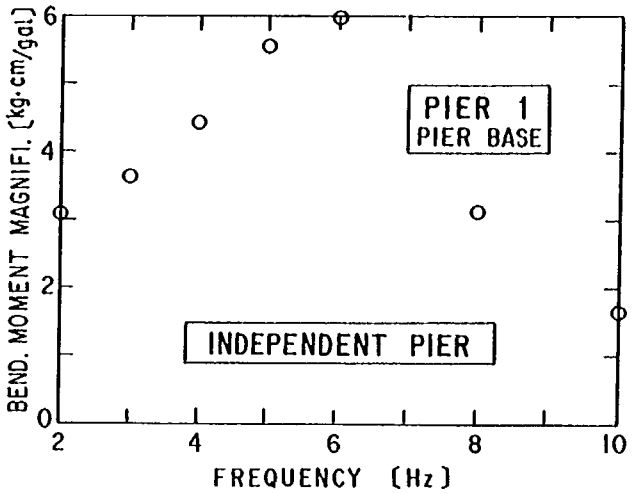


(b) 橋 脚 2

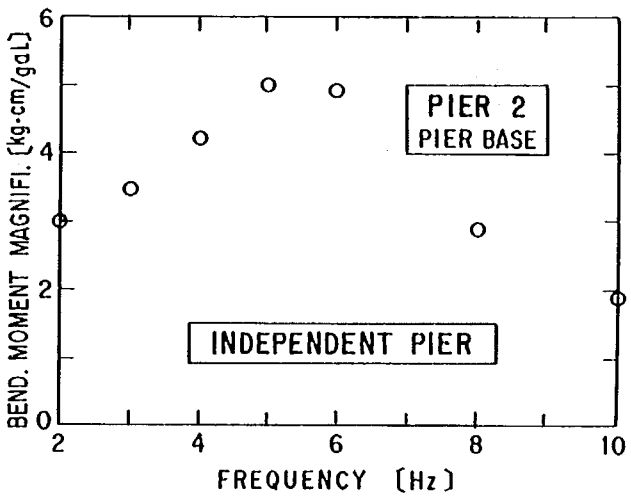


(c) 橋 脚 3

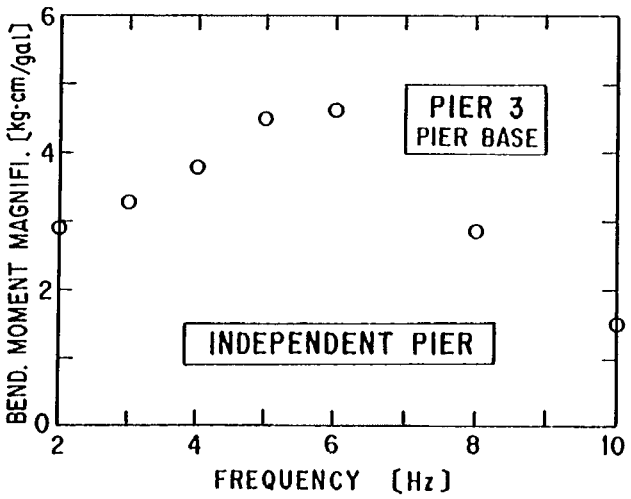
図 5.4 橋脚単体の加速度応答倍率
（正弦波入力振動実験）



(a) 橋 脚 1

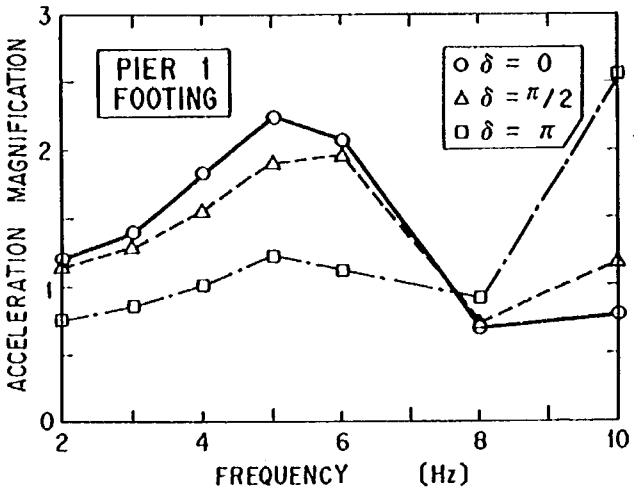


(b) 橋 脚 2

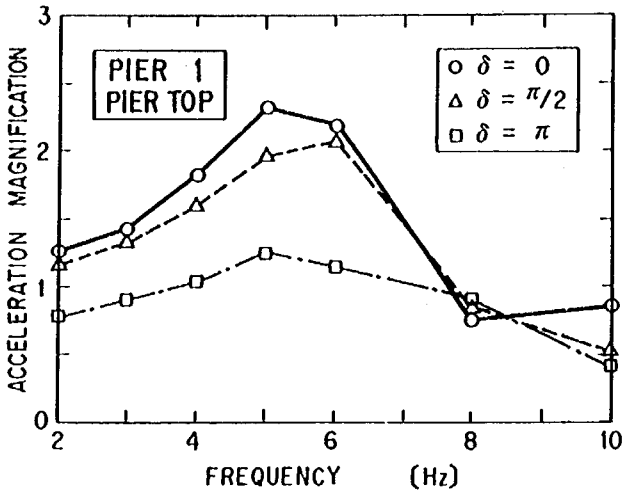


(c) 橋 脚 3

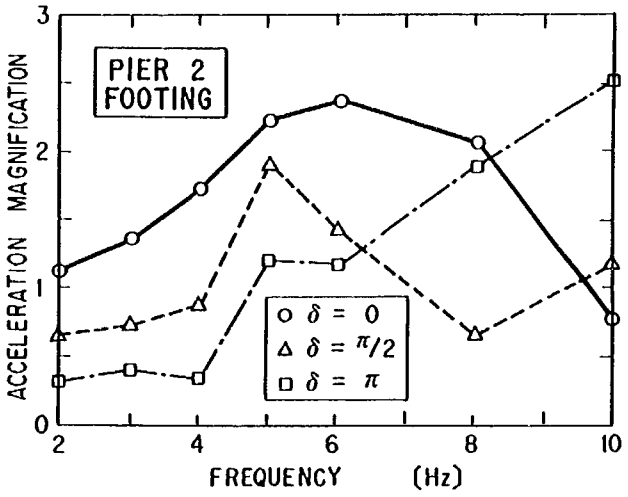
図 5.5 橋脚単体の曲げモーメント応答倍率
（正弦波入力振動実験）



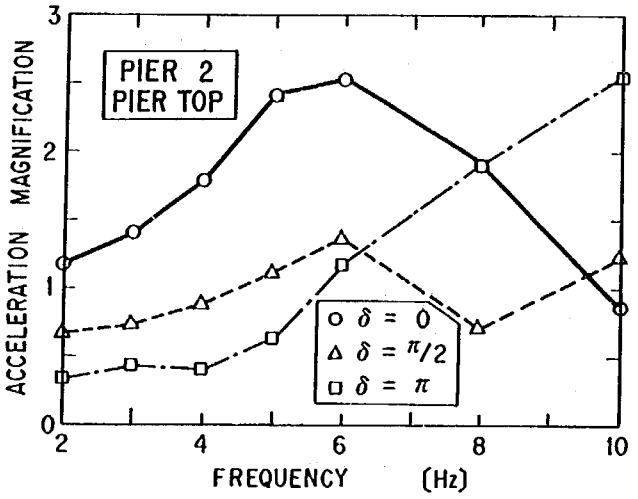
(a) 橋脚1，フーチング



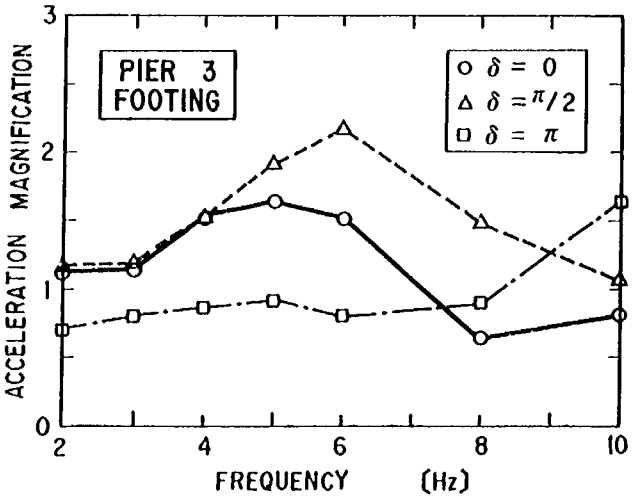
(b) 橋脚1，天端



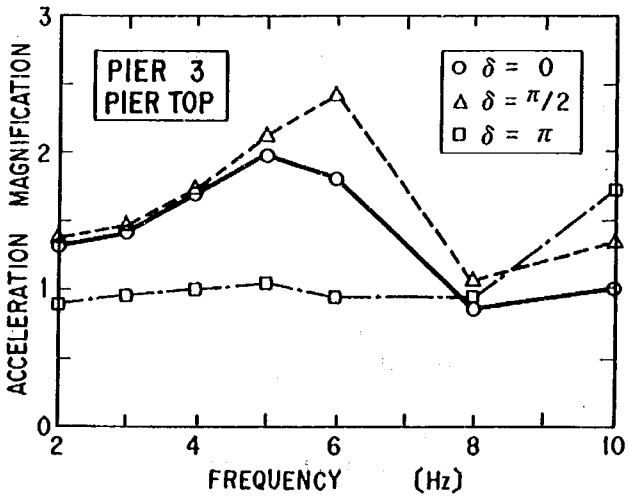
(c) 橋脚2，フーチング



(d) 橋脚2，天端

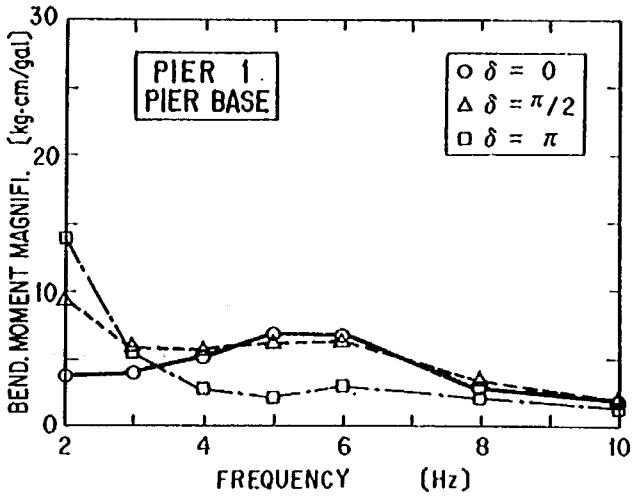


(e) 橋脚3，フーチング

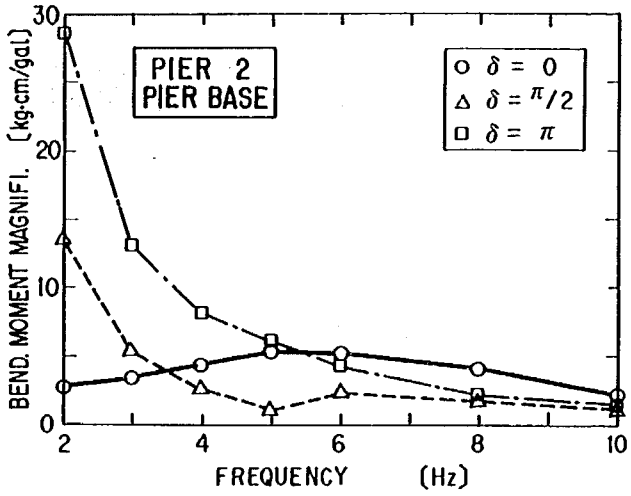


(f) 橋脚3，天端

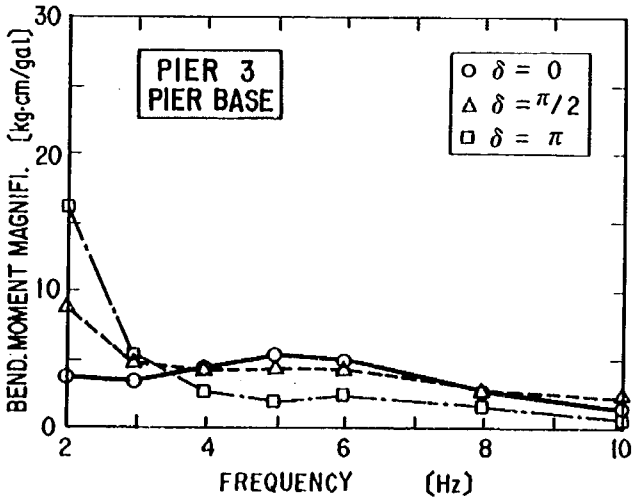
図 5.6　連続橋の加速度応答倍率（正弦波位相差入力振動実験）



(a) 橋 脚 1

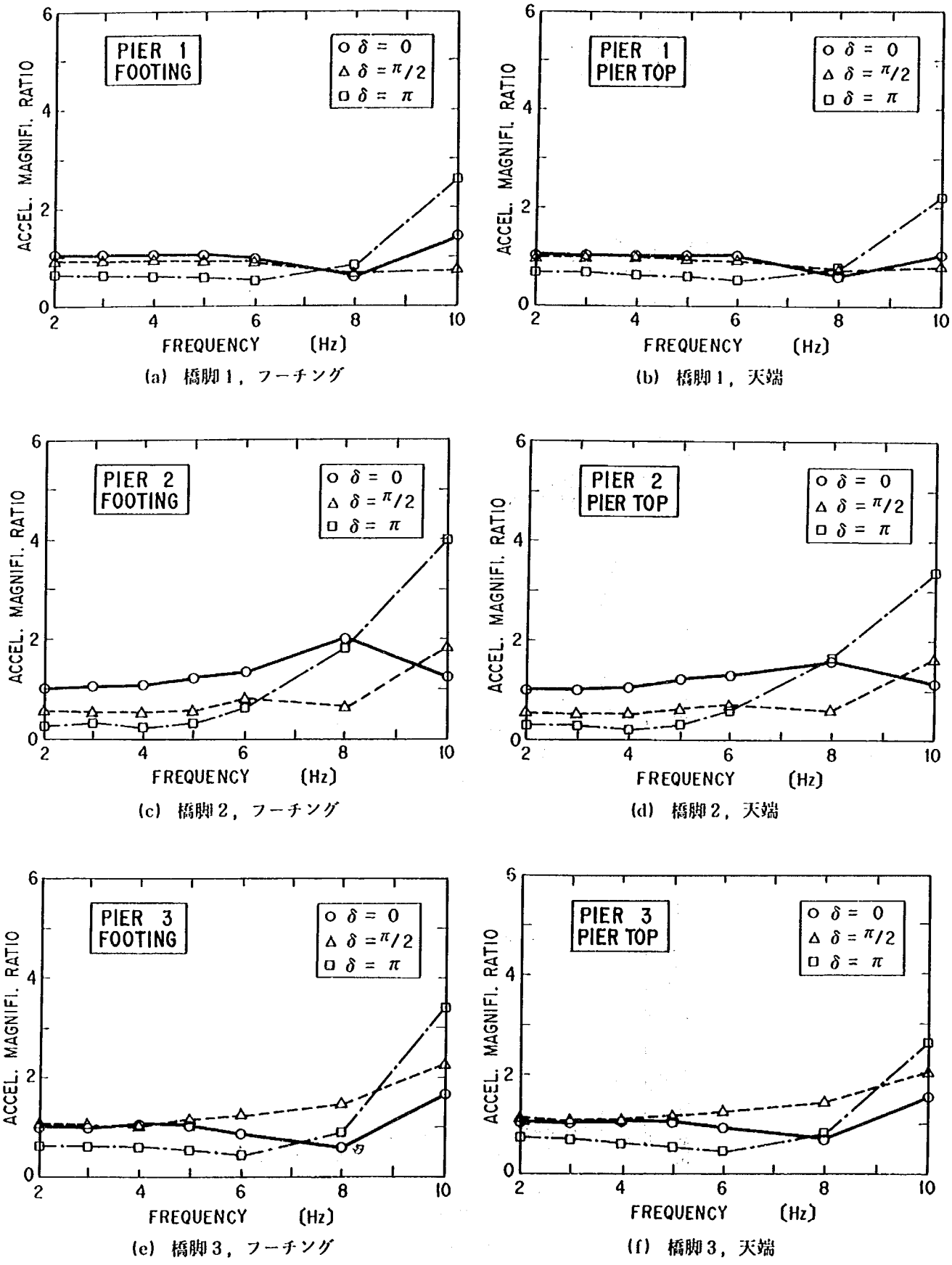


(b) 橋 脚 2



(c) 橋 脚 3

図 6.7　連続橋の曲げモーメント応答倍率（正弦波位相差入力振動実験）



(a) 橋脚1，フーチング

(b) 橋脚1，天端

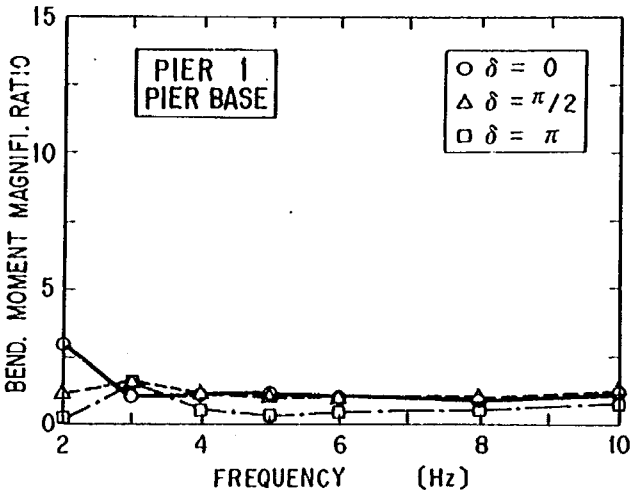
(c) 橋脚2，フーチング

(d) 橋脚2，天端

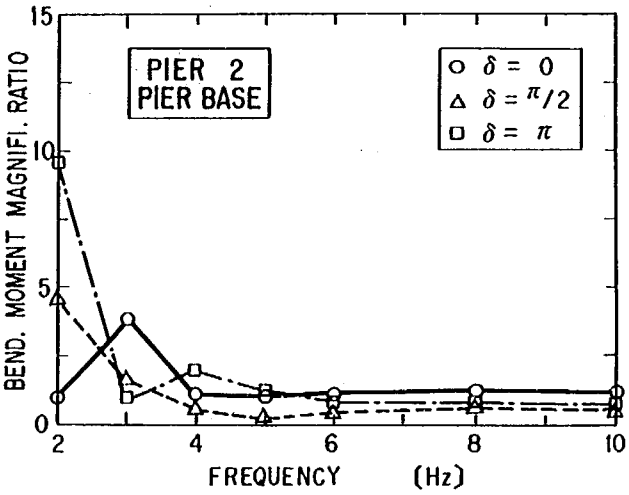
(e) 橋脚3，フーチング

(f) 橋脚3，天端

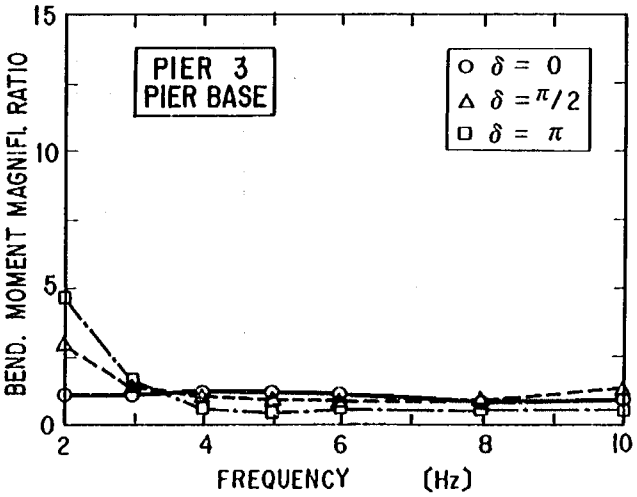
図 5.8　加速度応答倍率比（正弦波位相差入力振動実験）



(a) 橋 脚 1

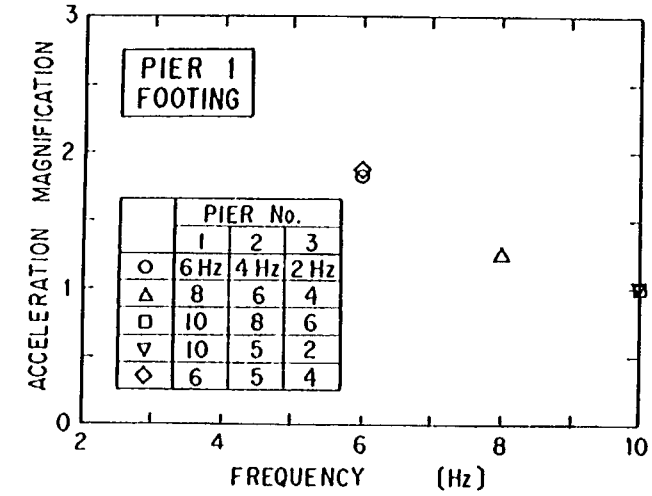


(b) 橋 脚 2

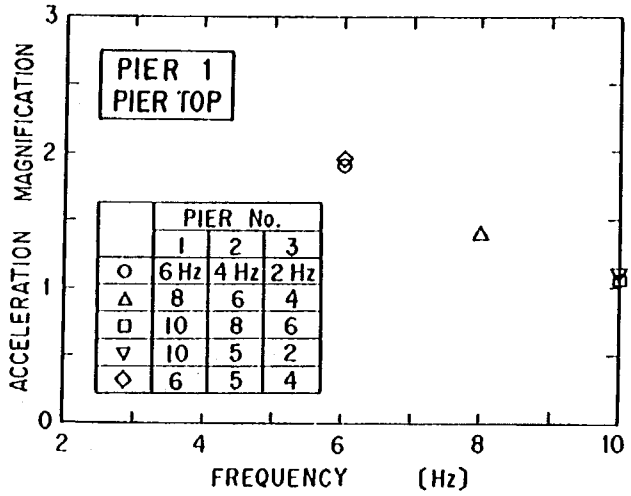


(c) 橋 脚 3

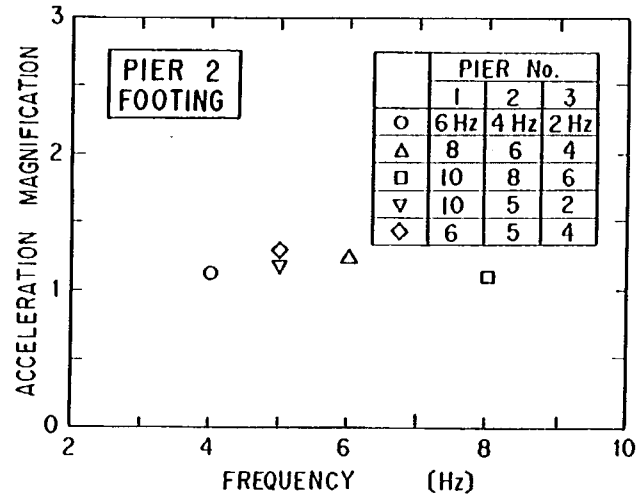
図 5.9　曲げモーメント応答倍率比（正弦波位相差入力振動実験）



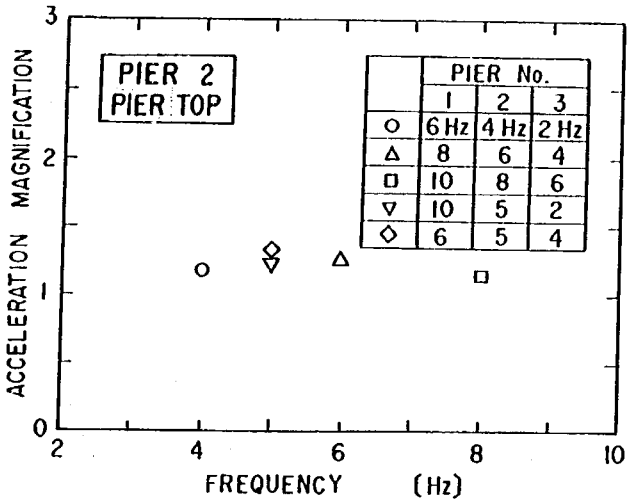
(a) 橋脚1，フーチング



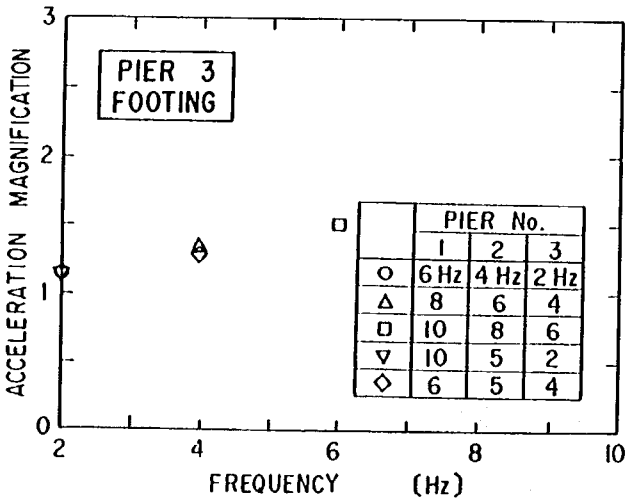
(b) 橋脚1，天端



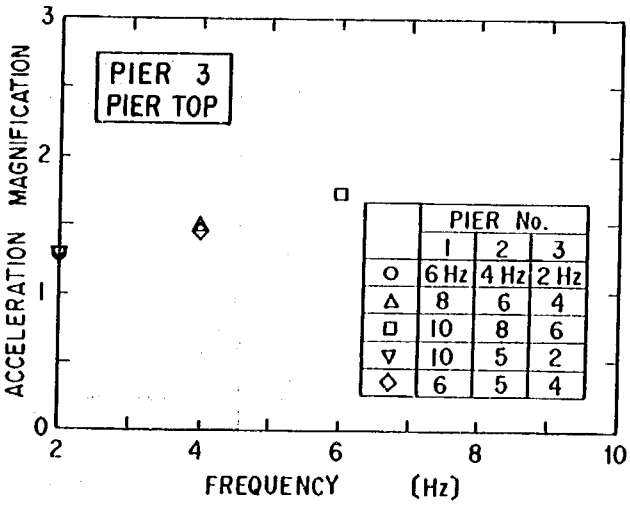
(c) 橋脚2，フーチング



(d) 橋脚2，天端

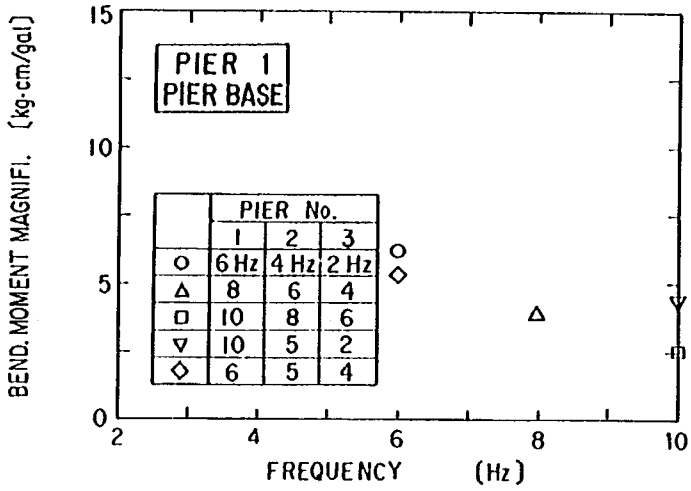


(e) 橋脚3，フーチング

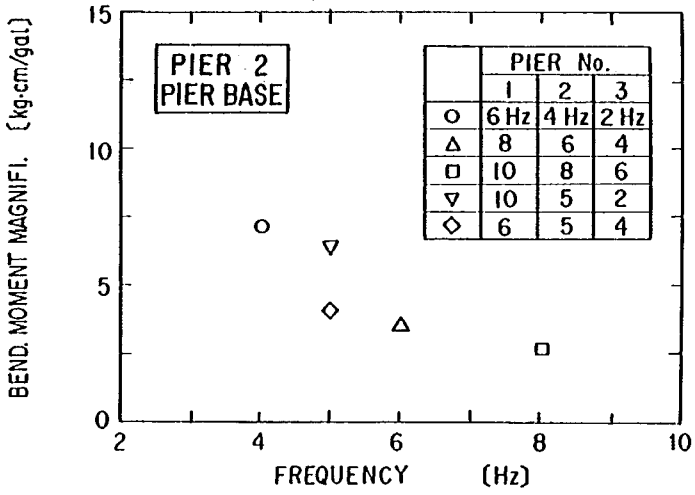


(f) 橋脚3，天端

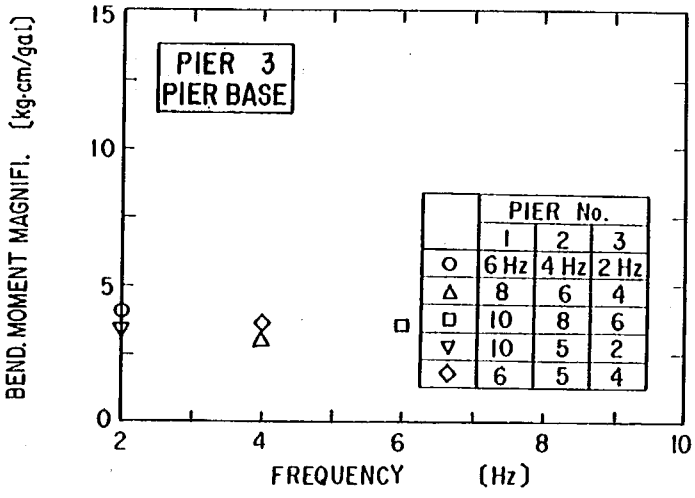
図 5.10　連続橋の加速度応答倍率（正弦波多点入力振動実験）



(a) 橋 脚 1

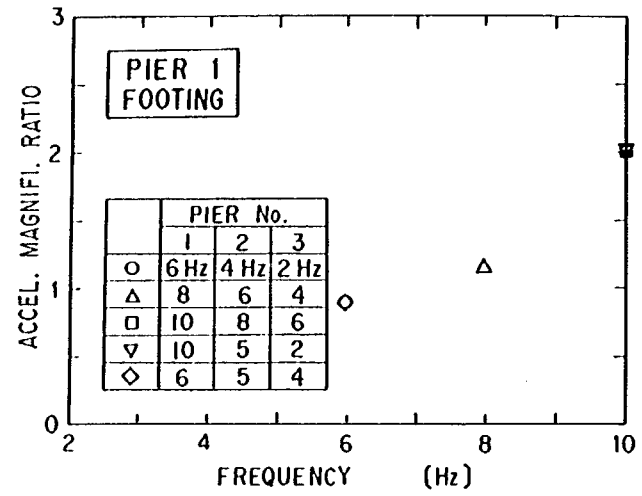


(b) 橋 脚 2

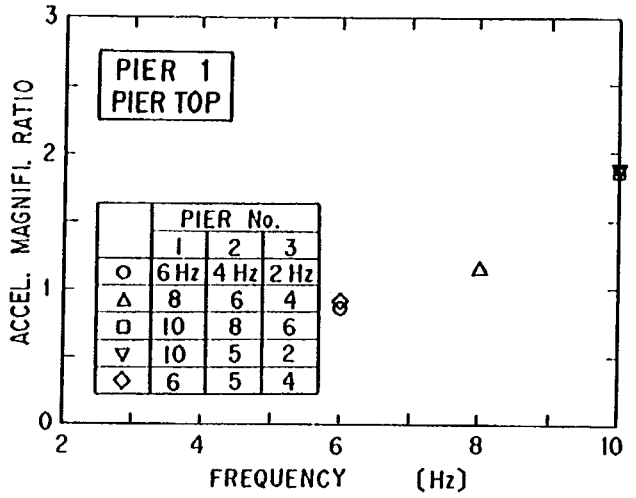


(c) 橋 脚 3

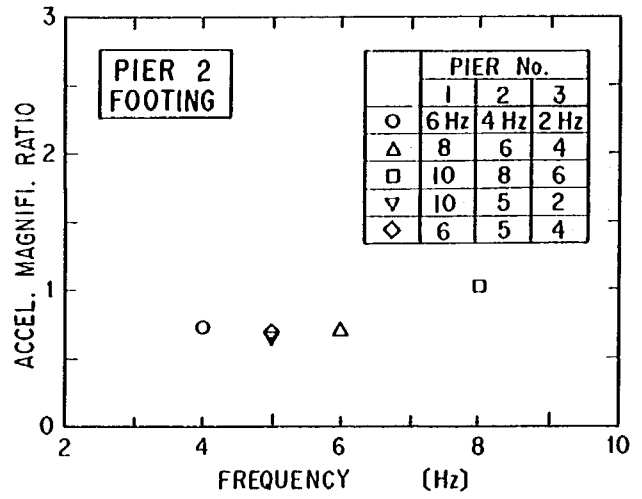
図 5.11 連続橋の曲げモーメント応答倍率（正弦波多点入力振動実験）



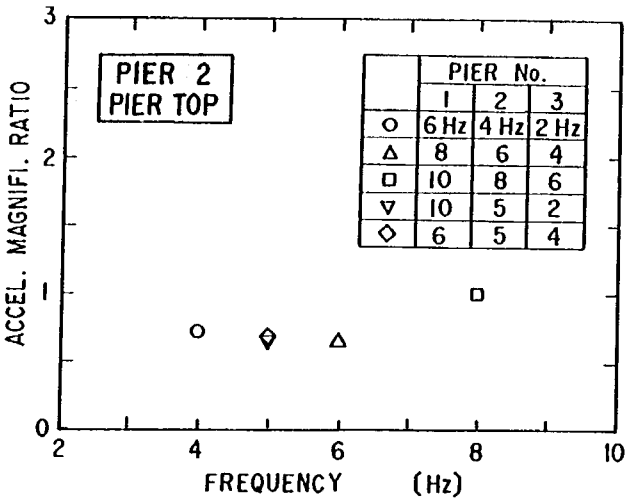
(a) 橋脚1，フーチング



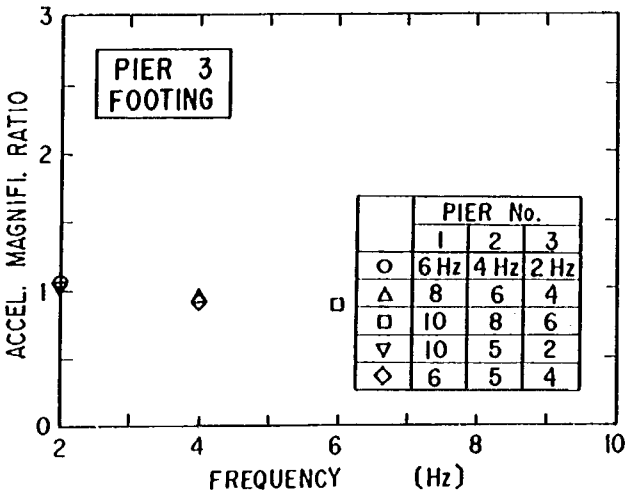
(b) 橋脚1，天端



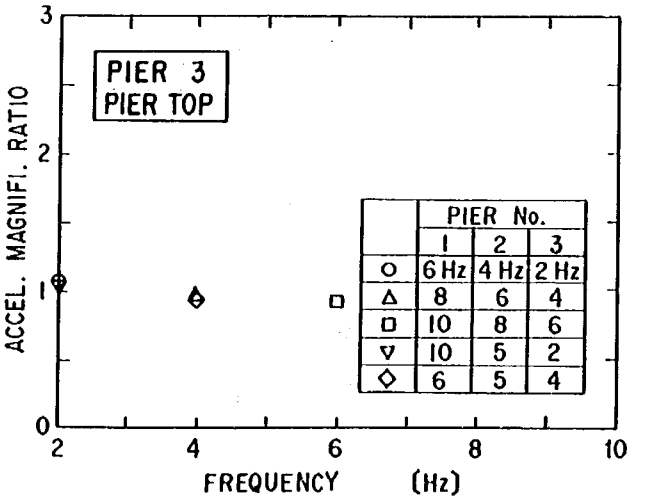
(c) 橋脚2，フーチング



(d) 橋脚2，天端

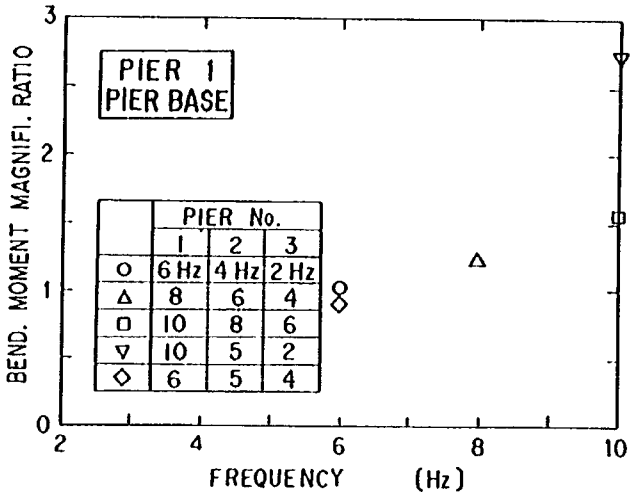


(e) 橋脚3，フーチング

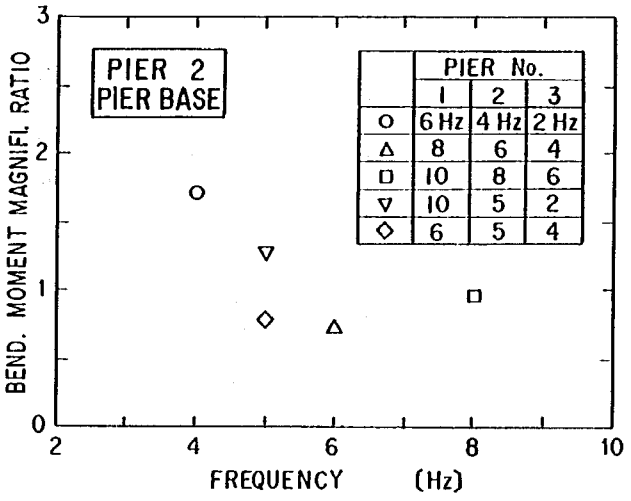


(f) 橋脚3，天端

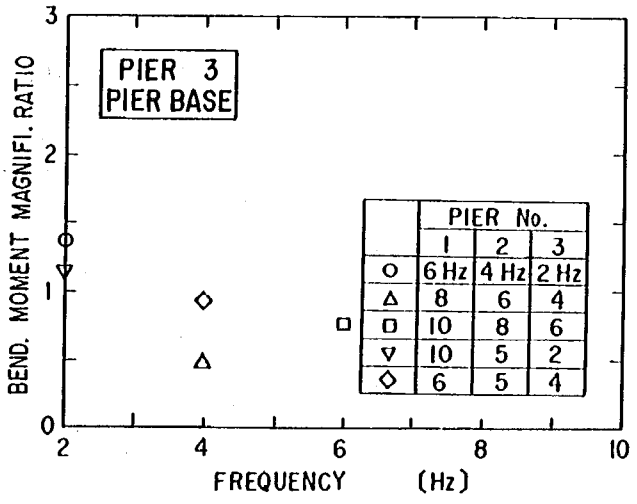
図 5.12 加速度応答倍率比（正弦波多点入力振動実験）



(a) 橋 脚 1

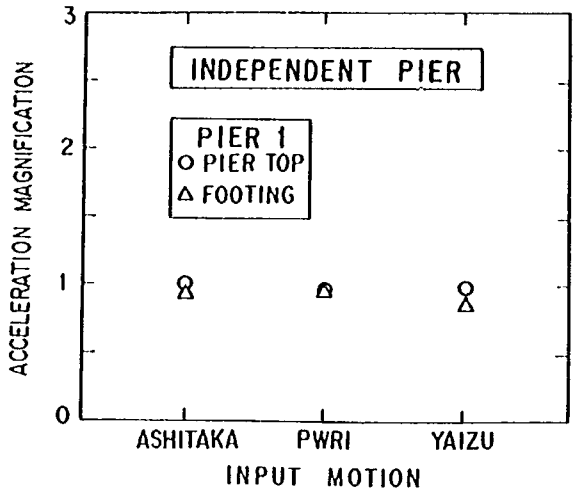


(b) 橋 脚 2

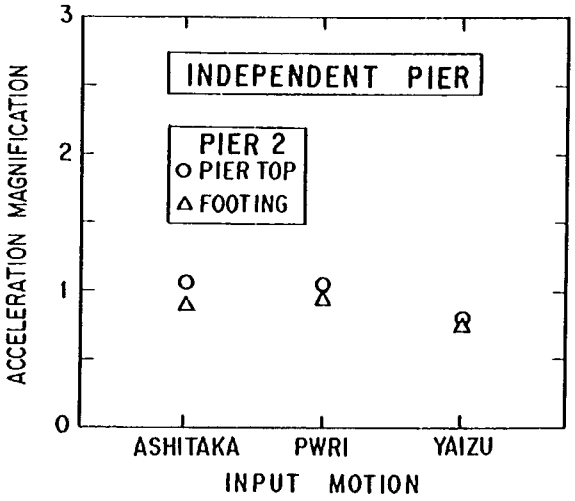


(c) 橋 脚 3

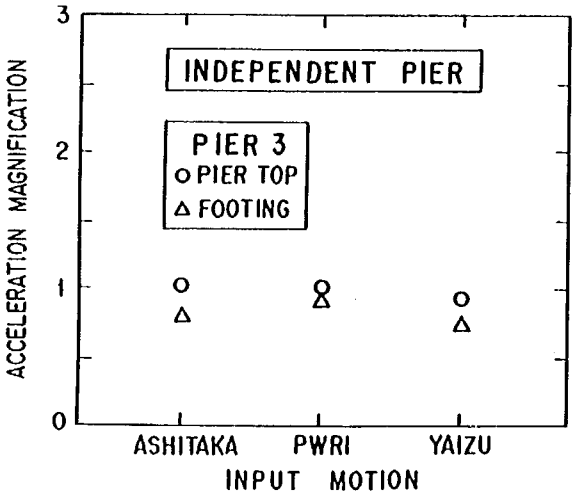
図 5.13 曲げモーメント応答倍率比（正弦波多点入力振動実験）



(a) 橋 脚 1

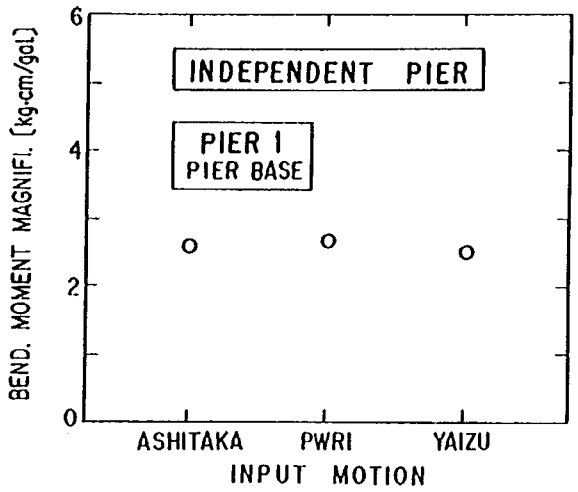


(b) 橋 脚 2

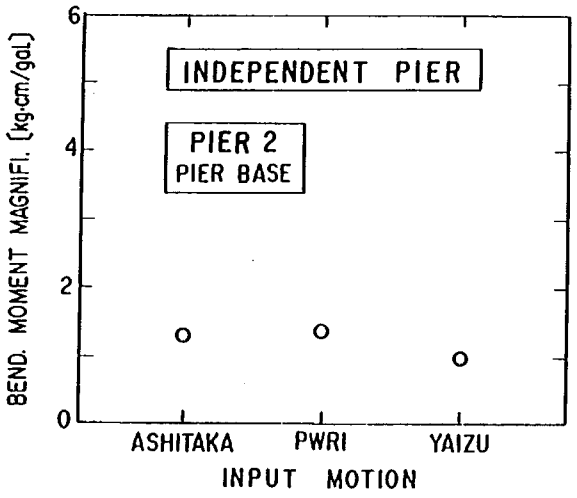


(c) 橋 脚 3

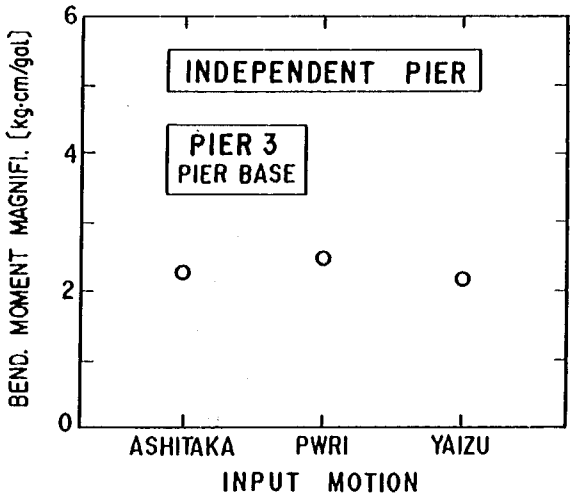
図 5.14 橋脚単体の加速度応答倍率
（地震波入力振動実験，1観測点記録）



(a) 橋 脚 1

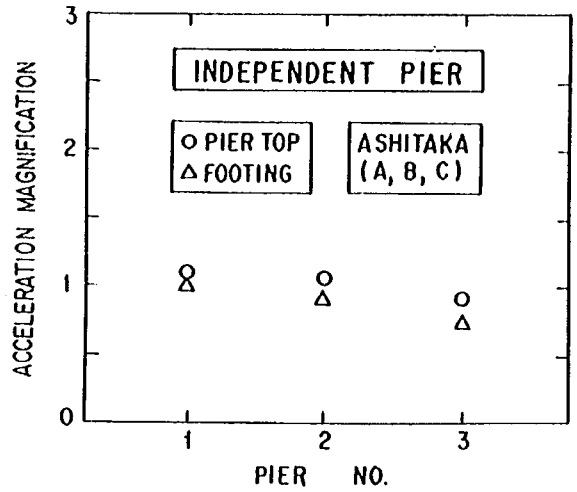


(b) 橋 脚 2

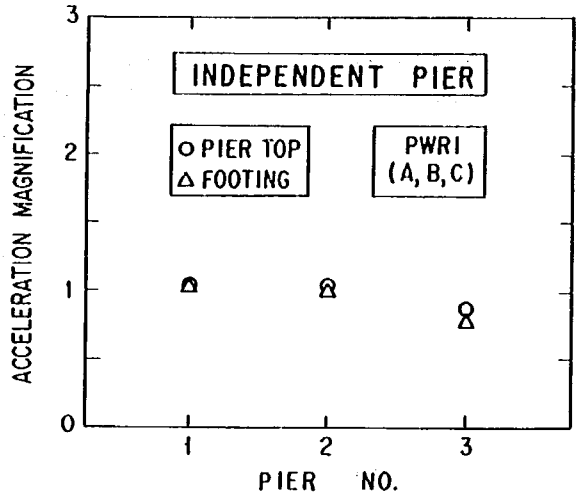


(c) 橋 脚 3

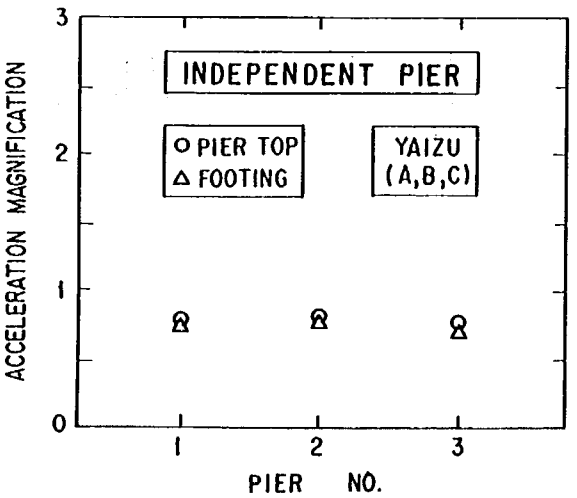
図 5.15 橋脚単体の曲げモーメント応答倍率
（地震波入力振動実験，1観測点記録）



(a) 愛鷹記録

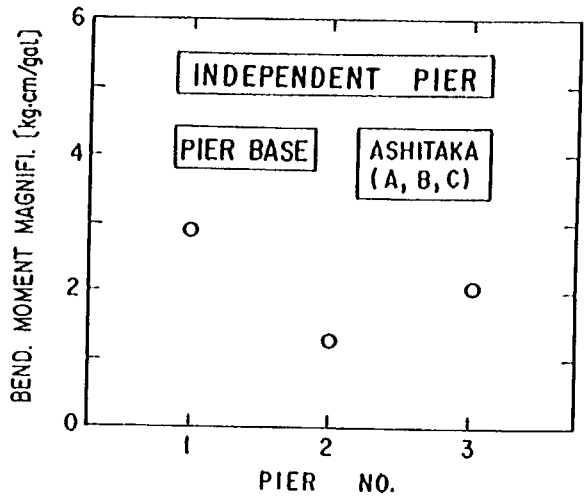


(b) 土研記録

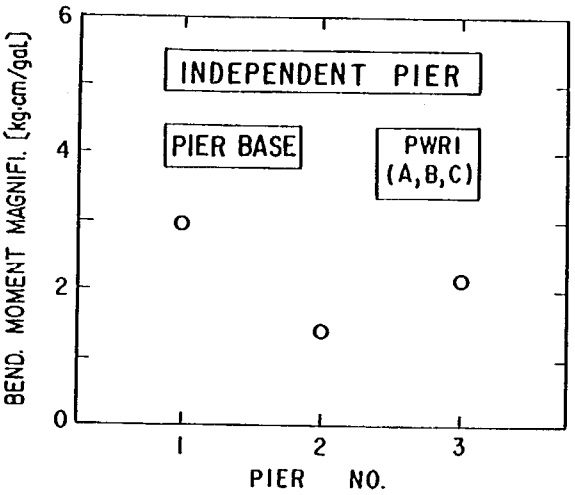


(c) 焼津記録

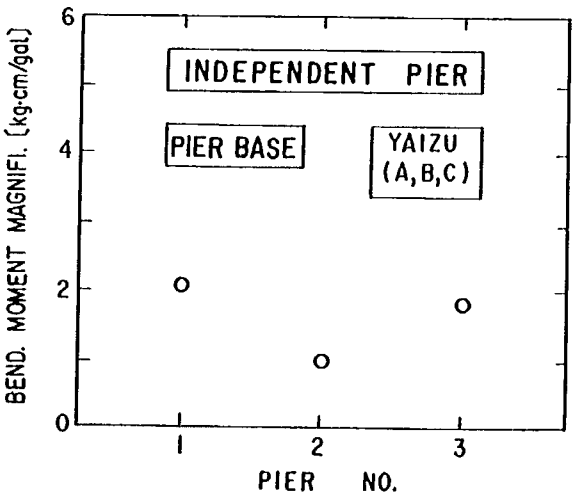
図 5.16 橋脚単体の加速度応答倍率
（地震波入力振動実験，3観測点記録）



(a) 愛鷹記録

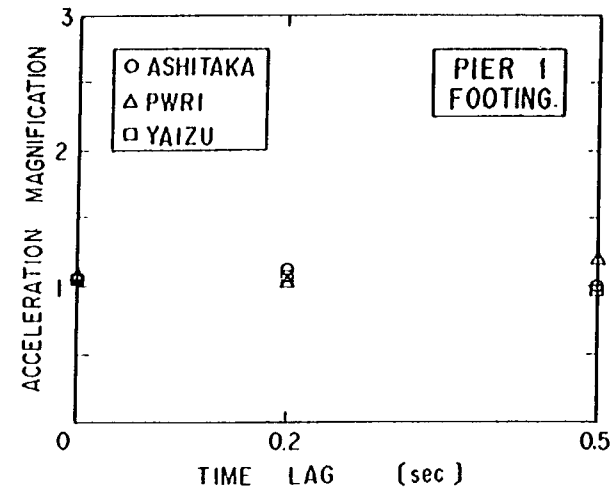


(b) 土研記録

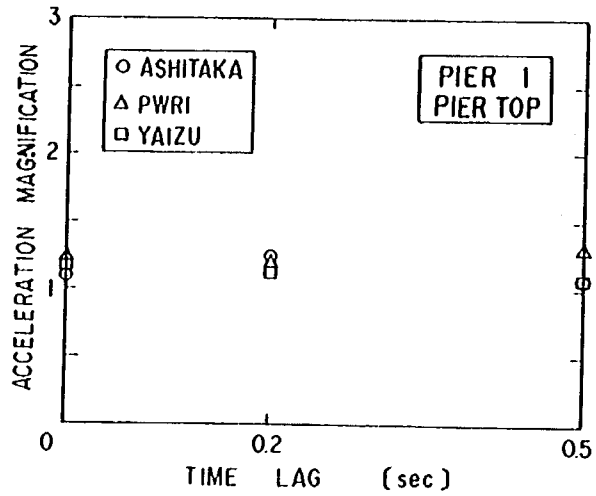


(c) 焼津記録

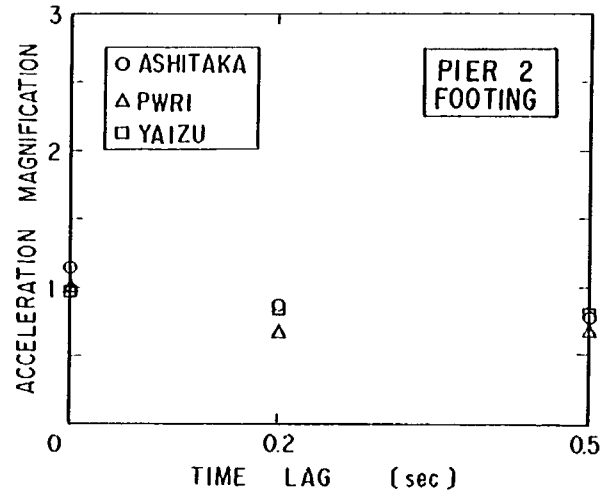
図 5.17 橋脚単体の曲げモーメント応答倍率
（地震波入力振動実験，3観測点記録）



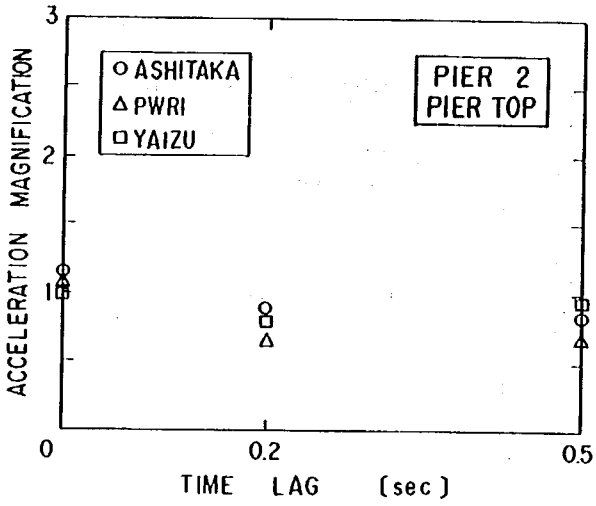
(a) 橋脚1，フーチング



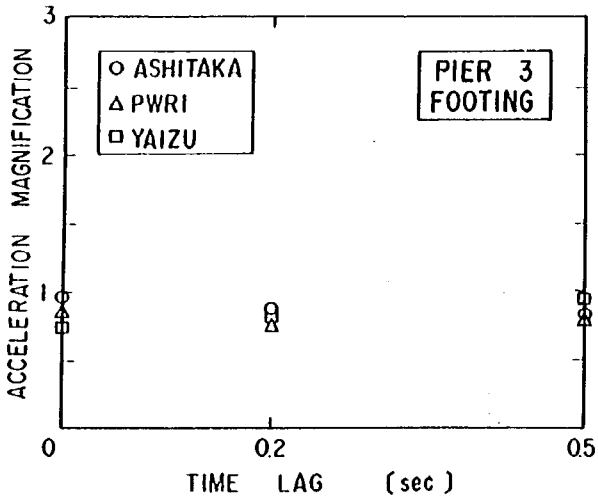
(b) 橋脚1，天端



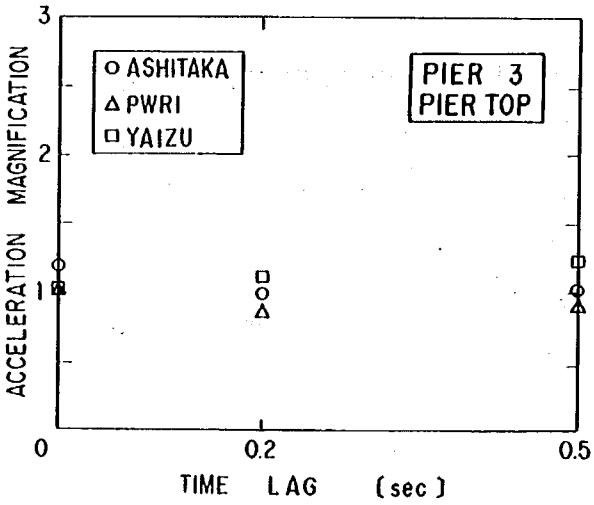
(c) 橋脚2，フーチング



(d) 橋脚2，天端

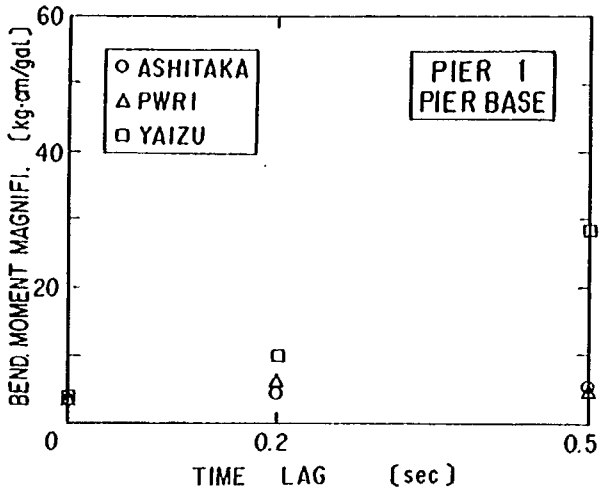


(e) 橋脚3，フーチング

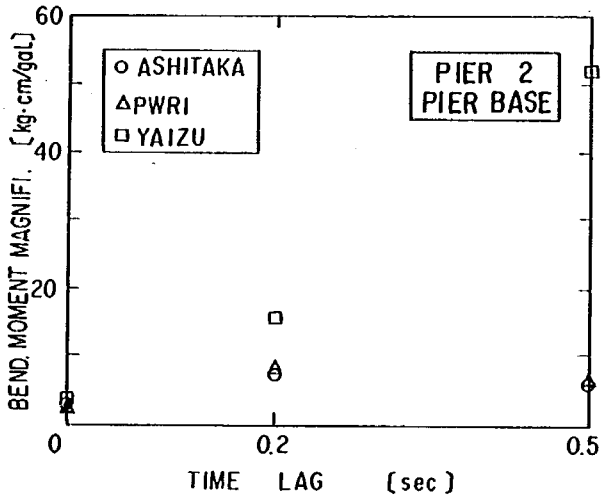


(f) 橋脚3，天端

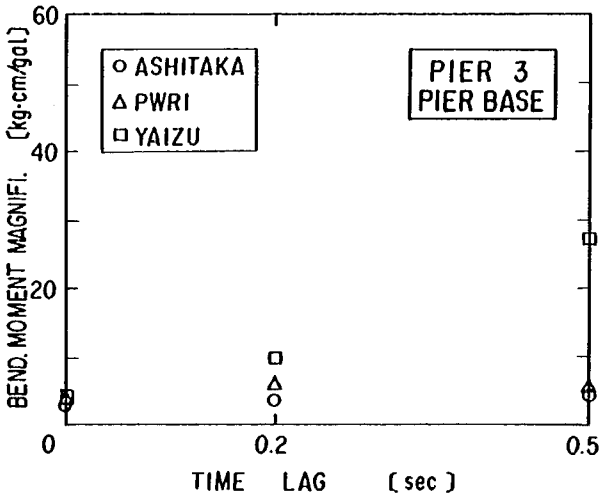
図 5.18 連続橋の加速度応答倍率（地震波位相差入力振動実験）



(a) 橋 脚 1

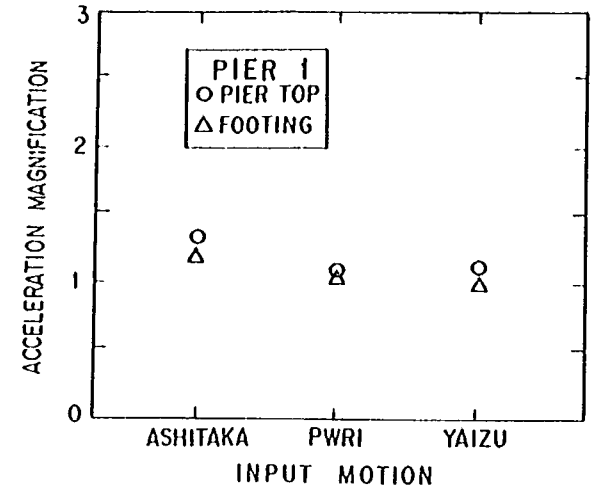


(b) 橋 脚 2

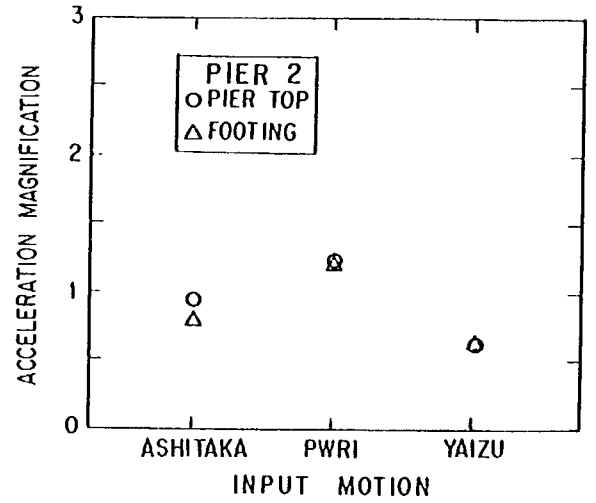


(c) 橋 脚 3

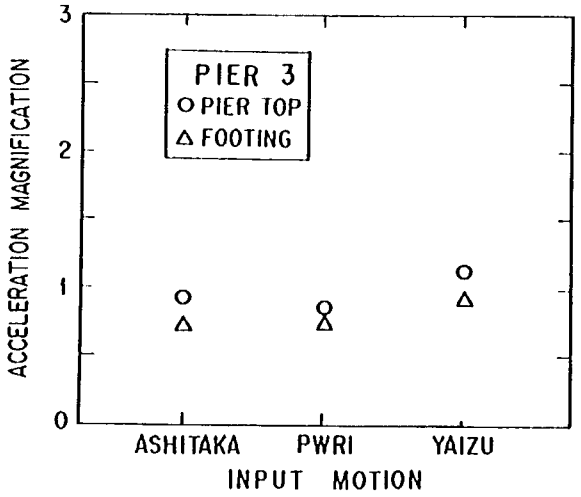
図 5.19 連続橋の曲げモーメント応答倍率（地震波位相差入力振動実験）



(a) 橋 脚 1

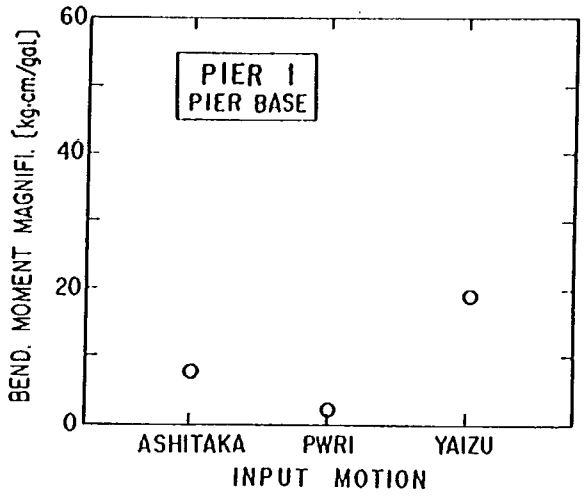


(b) 橋 脚 2

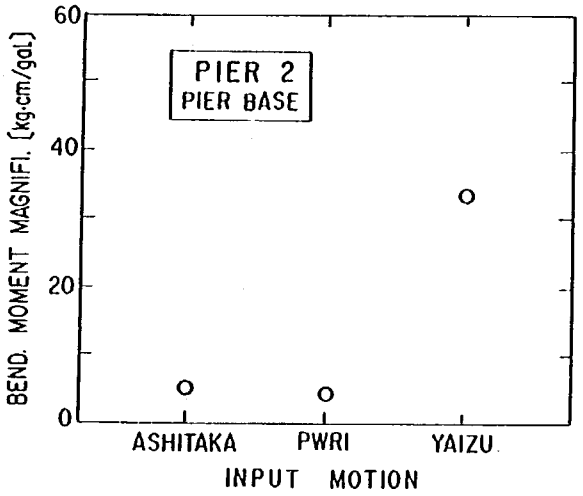


(c) 橋 脚 3

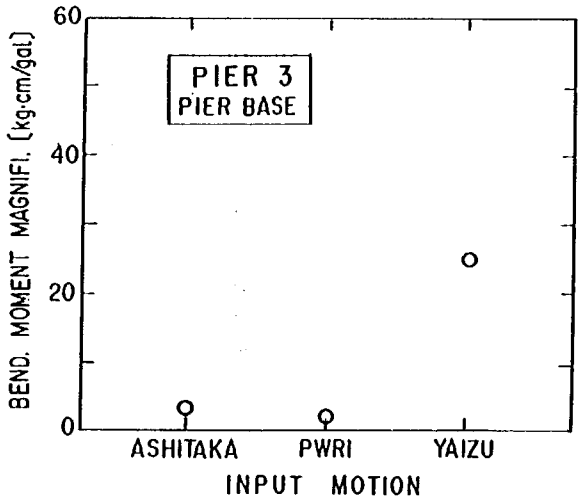
図 5.20 連続橋の加速度応答倍率
（地震波多点入力振動実験）



(a) 橋 脚 1

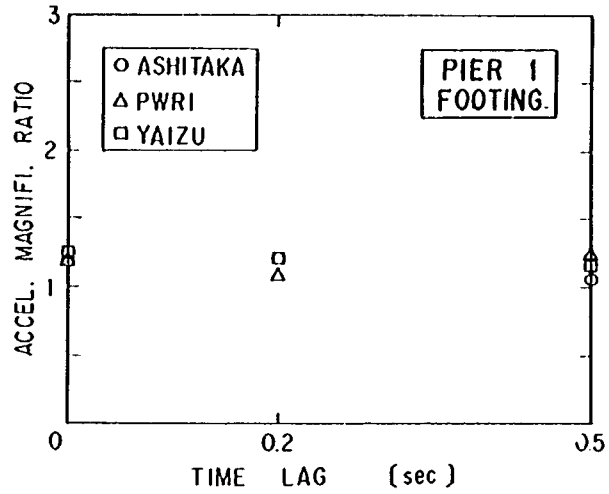


(b) 橋 脚 2

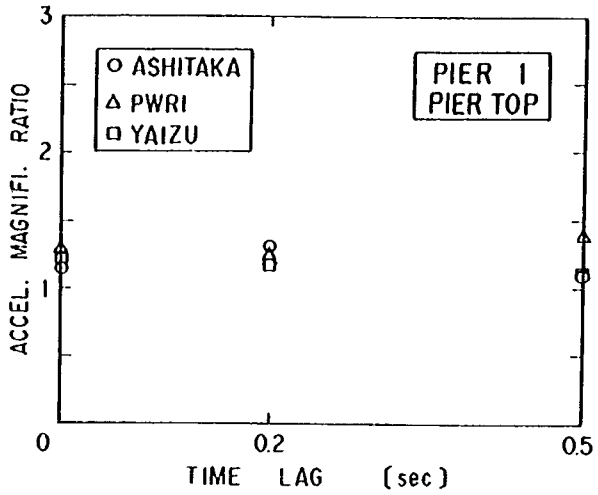


(c) 橋 脚 3

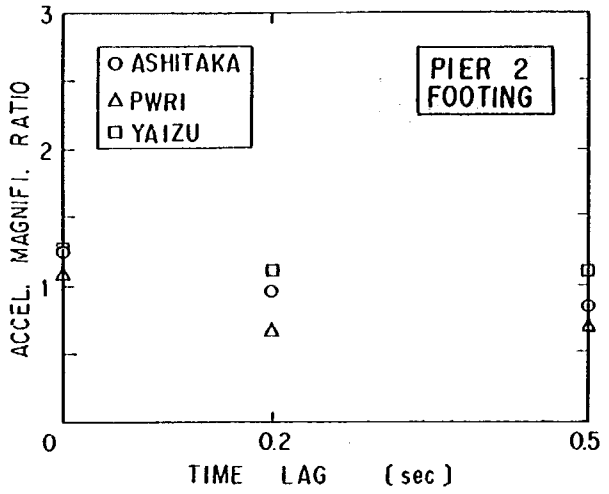
図 5.21 連続橋の曲げモーメント応答倍率
（地震波多点入力振動実験）



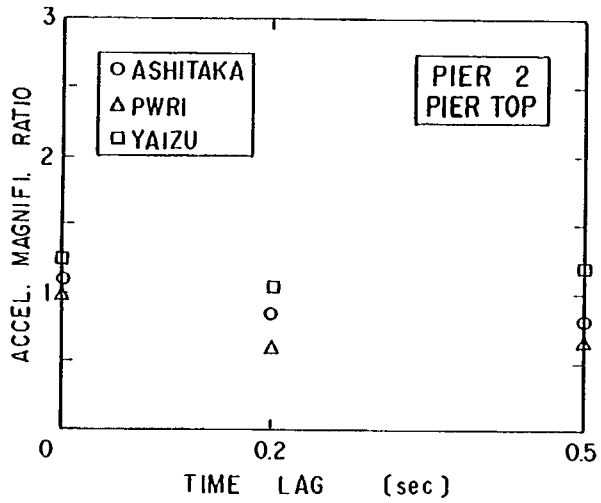
(a) 橋脚1，フーチング



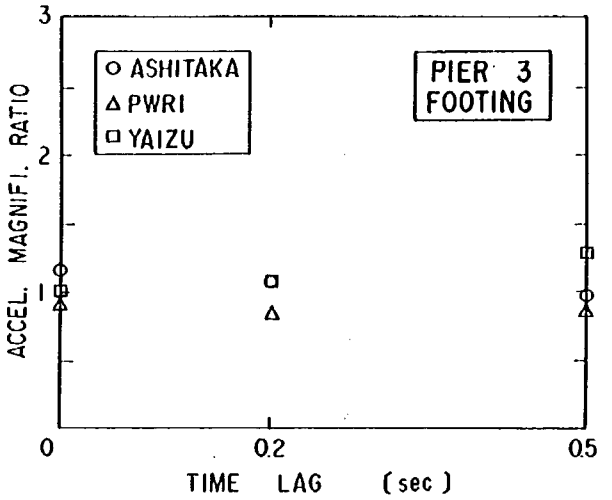
(b) 橋脚1，天端



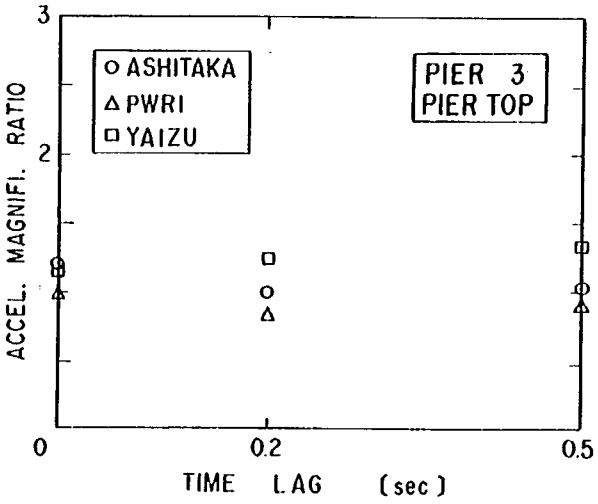
(c) 橋脚2，フーチング



(d) 橋脚2，天端

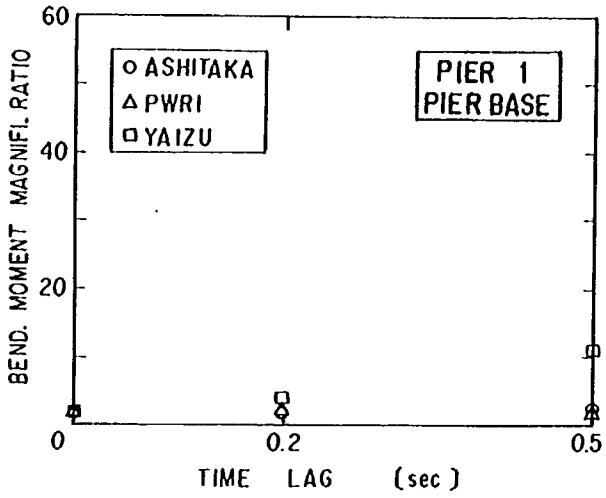


(e) 橋脚3，フーチング

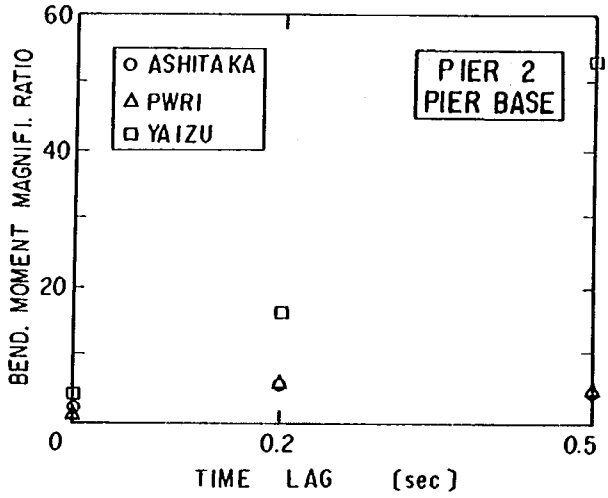


(f) 橋脚3，天端

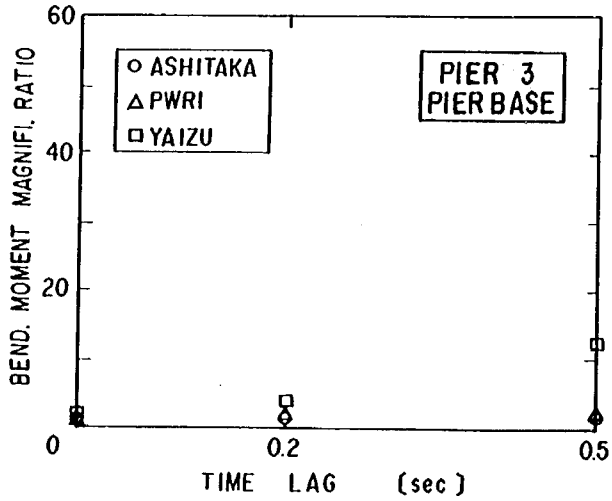
図 5.22　加速度応答倍率比（地震波位相差入力振動実験）



(a) 橋 脚 1

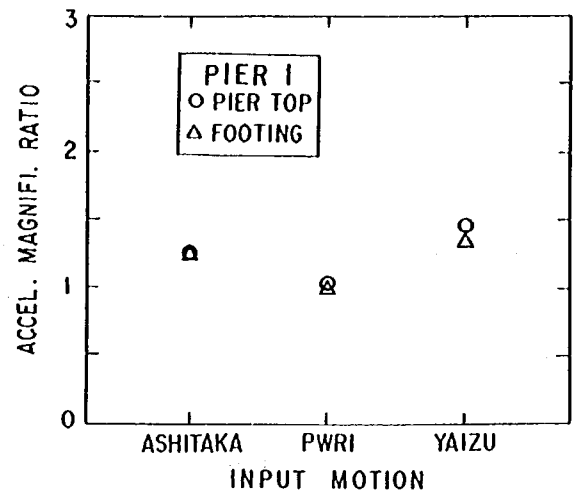


(b) 橋 脚 2

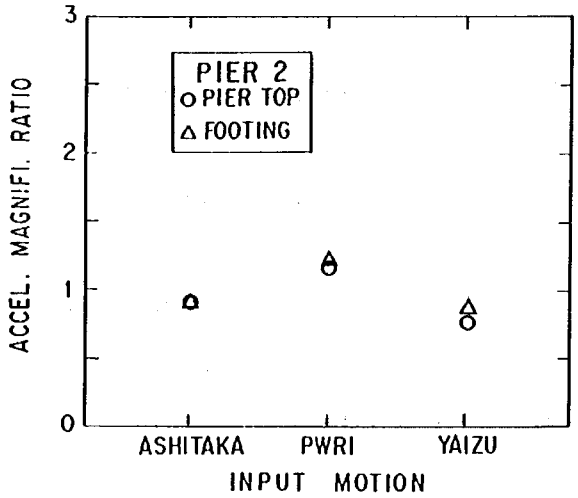


(c) 橋 脚 3

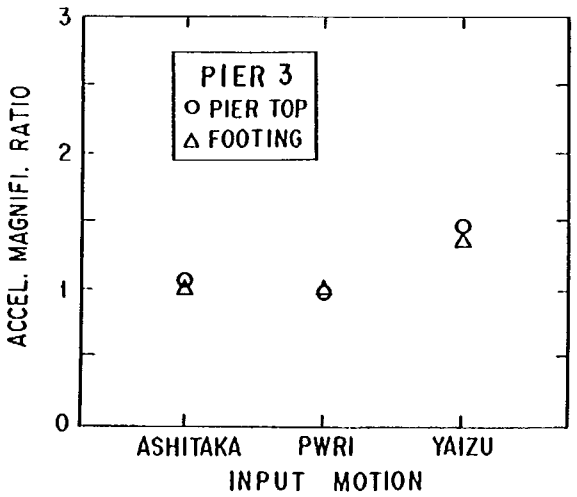
図 5.23 曲げモーメント応答倍率比（地震波位相差入力振動実験）



(a) 橋 脚 1

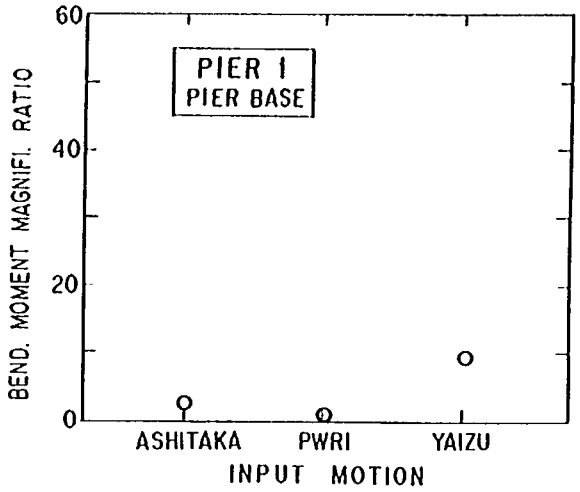


(b) 橋 脚 2

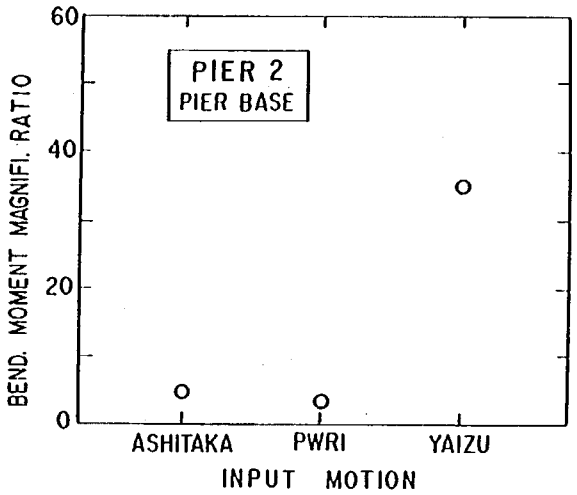


(c) 橋 脚 3

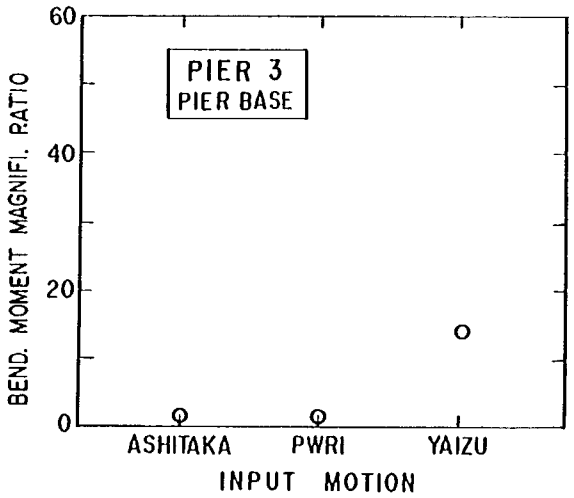
図 5.24 加速度応答倍率比
（地震波多点入力振動実験）



(a) 橋 脚 1



(b) 橋 脚 2



(c) 橋 脚 3

図 5.25 曲げモーメント応答倍率比
（地震波多点入力振動実験）

6. 結　　論

2径間連続高架橋の地震時挙動について，主として橋脚単体の地震時挙動との差異に注目した模型振動実験を行った。本実験から得られた主な結論は，以下のとおりである。

1) 連続橋の加速度応答倍率（＝最大応答加速度／最大入力加速度）は，加振振動数が共振振動数程度以下の場合には，橋脚単体の加速度応答倍率と同程度以下であり，加振振動数が高い場合には，橋脚単体の加速度応答倍率より高くなる。また，加振振動数が低い場合には橋脚間に位相差を付けると，加速度応答倍率が小さくなる傾向が認められる。

2) 連続橋の曲げモーメント応答倍率（＝最大応答曲げモーメント／最大入力加速度）は，橋脚間に位相差がない場合には，いずれの加振振動数についても橋脚単体の場合と同程度である。橋脚間に位相差がある場合の低振動数加振では曲げモーメント応答倍率が高くなる。なお，この傾向は中間の橋脚で特に顕著である。

3) 連続橋の各橋脚に振動数の異なる正弦波を入力する場合，高振動数の正弦波を入力した橋脚において加速度および曲げモーメントの応答倍率が高くなる場合がある。

4) 実測地震波を入力する場合の連続橋の加速度応答倍率は，記録の種類および位相差によらず，橋脚単体の場合と大きくは異ならない。

5) 実測地震波を入力する場合の連続橋の曲げモーメント応答倍率の特性は，記録の種類により大きく異なる。ただし，一般に，位相差が大きい程曲げモーメント応答倍率は大きく，また，端部の橋脚よりも中間の橋脚で曲げモーメント応答倍率が大きくなる傾向が認められる。

参　考　文　献

1) 大崎順彦 ： 地震動のスペクトル解析入門，鹿島出版会，昭和51年7月

2) 大久保忠良，岩崎敏男，川島一彦 ： 土木研究所における高密度強震観測計画および記録の解析，日米天然会議耐風耐震構造専門部会，第13回合同部会，昭和56年5月

3) 建設省土木研究所 ： 土木研究所講内の高密度強震観測記録の解析ー地震動の増幅特性および地震動の水平面内における変動特性の検討ー，土木研究所資料，第2270号，昭和60年12月

4) 建設省土木研究所 ： 土木研究所における高密度強震観測システムー(2)焼津地区の観測システムー，土木研究所資料，第1994号，昭和58年3月

5) 建設省土木研究所 ： 地盤と構造物の動的相互作用解析プログラムNONINTの概要，土木研究所資料，第1530号，昭和55年5月

付　属　資　料　1

実験結果と動的解析結果の比較

1. 実験結果と動的解析結果の比較

1.1 概　要

実験結果の妥当性を検証するために，連続高架橋模型を骨組構造物にモデル化した上で動的解析を行い，実験結果との比較を行った。動的解析に使用したプログラムは，NONINT（NON liner Soil-Structure INTeraction Program）である。NONINTはモード法による時刻歴応答解析プログラムであり，その詳細は参考文献5)に示すとおりである。なお，ここで比較の対象とした実験結果は，本文中の実験とは別に実施した実験によるものである。

1.2 実験模型のモデル化

動的解析に当って，2径間連続高架橋模型を付図1.1に示すような45節点から成る3次元骨組構造物にモデル化した。各節点の座標，質量，ならびに各部材の断面積，断面2次モーメント等は，それぞれ，付表1.1および付表1.2に示すとおりである。

1.3 固有振動数および固有振動モード

解析モデルの非減衰固有値解析による固有振動数および固有振動モード（1次～4次）は，それぞれ，付表1.3および付図1.2に示すとおりである。これによれば，1次の固有振動数は5.46 Hzであり，一方，実験による共振振動数（4.4節に示した共振振動数とは異なる）は5.2 Hz程度であり，解析モデルの精度は十分であると言えよう。

1.4 減衰定数の設定

モード法による動的解析では，各次数ごとの減衰定数を設定する必要がある。本検討においては，各次数に共通の減衰定数を用いることとし，その設定方法は次のとおりである。

すなわち，いくつかのケースについて減衰定数を種々変化させて動的解析を行い，実験結果と適合する減衰定数をもって，以降の比較検討に用いることとする。ここで，減衰定数を設定するために動的解析を行った解析ケースは，全橋脚に2, 6, 10 Hzの正弦波（橋脚間の位相差は0）を入力する合計3ケースである。なお，動的解析の入力としては，正弦波加振振動実験の際の振動台加速度ではなく，数値シュミレーションで作成した正弦波を用いた。また，振動実験と動的解析の入力レベルは必ずしも一致していないので，結果の比較は応答倍率（＝最大応答値／最大入力加速度）で行うものとする。ここで，振動実験結果の最大値は実効値（5.1節参照）によるものとし，また，動的解析結果の最大値は過渡的な応答の影響を排除するために，時刻歴応答解析結果の応答が安定している範囲の最大値とした。

動的解析による応答波形の一例を示すと，付図1.3のようになる。また，代表的な節点について動的解析と振動実験の比較を示すと，付表1.4および付図1.4のようになる。これらの結果より，次の事項が指摘される。

1) 全般に，加振振動数が2 Hz および10Hz の場合には減衰定数による動的解析結果の差異が小さく，6 Hz の場合には差異が大きい。これは解析モデルの1次固有振動数が5.46 Hz であるため，それに近い6 Hz 加振の場合には減衰定数の変化が応答の変化に大きく影響するためであると考えられる。

2) 端橋脚（橋脚1）の加速度応答倍率に関しては，減衰定数を0.25とした場合に，計算値と実験値が最もよく適合する。また，中間橋脚（橋脚2）に関しては，減衰定数を0.3とした場合に最もよく適合する。

3) 橋脚基部の曲げモーメント応答倍率に関しては，減衰定数を0.3とした場合に，計算値と実験値が最もよく適合する。

上記のように，減衰定数の最適値は着目点により変化している。また，ランダム波加振振動実験時の伝達関数から求めた減衰定数は0.16～0.30程度である。そこで，ここでは以上の検討結果を総合して，以降の解析における減衰定数は0.25とすることにする。

1.5 正弦波位相差入力における実験結果と動的解析結果の比較

正弦波位相差入力の場合について，実験結果と動的解析結果の比較を行う。ここで，比較の対象としたケースは，橋脚間の位相差を（0，0，0），（$-\pi/2$，0，$\pi/2$），（$-\pi$，0，π）の3組に変化させ，加振振動数を2，6，10Hz の3種類とした合計9ケースである。動的解析の入力としては，実験時の振動台加速度を用いるものとし，また，減衰定数は前節で設定した0.25とする。実験結果と動的解析結果の比較は，前節と同様に，応答倍率で行うものとする。なお，動的解析結果の最大値は，応答が安定している範囲の実効値から求めることとした。

代表的な節点について，動的解析と振動実験の比較を示すと，付表1.5および付図1.5のようになる。これらの結果より，次の事項が指摘される。

1) 端橋脚フーチングおよび橋脚天端における加速度応答倍率に関しては，計算結果と実験結果は比較的よく一致している。

2) 中間橋脚フーチングおよび橋脚天端における加速度応答倍率に関しては，次の点で相違が見られる。

   a) 位相差が$\pi/2$の場合，振動数6 Hz において，計算結果は実験結果の約2倍になる。

   b) 位相差がπの場合，振動数6 Hz および10Hz において，計算結果は実験結果の約1/2になる。

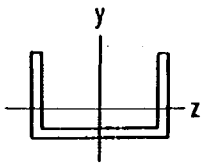
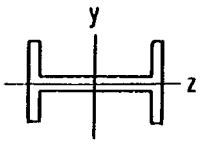
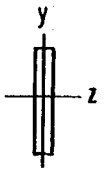
3) 橋脚基部における曲げモーメント応答倍率に関しては，計算結果と実験結果は，細部においては必ずしも一致しない場合もあるが，振動数および位相差による応答倍率の変化の状況はよく一致している。

付表 1.1　解析モデルの節点座標および節点質量

節点番号	座標 (m) x	y	z	節点重量 (kg)	節点質量 (kg s²/m)	節点番号	座標 (m) x	y	z	節点重量 (kg)	節点質量 (kg s²/m)
1	0	1.48	0	16.1 1)	1.64	24	4	0.7	0.1	0	0
2	1	1.48	0	5.75 2)	0.59	25	4	0.525	0.1	6.275	0.64
3	2	1.48	0	5.75	0.59	26	4	0.35	0.1	0.	0
4	3	1.48	0	5.75	0.59	27	4	0.175	0.1	6.275	0.64
5	4	1.48	0	5.75	0.59	28	4	0	0.1	0	0
6	5	1.48	0	5.75	0.59	29	4	0.7	−0.1	0	0
7	6	1.48	0	5.75	0.59	30	4	0.525	−0.1	6.275	0.64
8	7	1.48	0	5.75	0.59	31	4	0.35	−0.1	0	0
9	8	1.48	0	16.1	1.64	32	4	0.175	−0.1	6.275	0.64
10	0	1.13	0	15.75 3)	1.61	33	4	0	−0.1	0	0
11	0	0.78	0	16.35 4)	1.67	34	8	1.13	0	15.75	1.61
12	0	0.7	0.1	0	0	35	8	0.78	0	16.35	1.67
13	0	0.525	0.1	6.275 5)	0.64	36	8	0.7	0.1	0	0
14	0	0.35	0.1	0	0	37	8	0.525	0.1	6.275	0.64
15	0	0.175	0.1	6.275	0.64	38	8	0.35	0.1	0	0
16	0	0	0.1	0	0	39	8	0.175	0.1	6.275	0.64
17	0	0.7	−0.1	0	0	40	8	0	0.1	0	0
18	0	0.525	−0.1	6.275	0.64	41	8	0.7	−0.1	0	0
19	0	0.35	−0.1	0	0	42	8	0.525	−0.1	6.275	0.64
20	0	0.175	−0.1	6.275	0.64	43	8	0.35	−0.1	0	0
21	0	0	−0.1	0	0	44	8	0.175	−0.1	6.275	0.64
22	4	1.13	0	15.75	1.61	45	8	0	−0.1	0	0
23	4	0.78	0	16.35	1.67						

注）1)　桁：23kg，カウンターウェイト：13.2 kg　23/8＋13.2＝16.1 (kg)
　　2)　桁：23kg　23/4＝5.75 (kg)
　　3)　橋脚：15.75 kg
　　4)　フーチング：16.35 kg
　　5)　板ばね（1枚）：12.55 kg　12.55/2＝6.275 (kg)

付表 1.2　部材の断面諸量

部材名	断面形状	断面寸法 (mm)	断面積 (cm²)	ねじり定数，断面2次モーメント (cm⁴) I_x	I_y	I_z
桁		200×50×50×3.2	9.26	0.328	490	18.2
橋脚		100×75×5×8	16.4	2.98	281	47.3
フーチング	――	――	――	∞	∞	∞
板ばね		300×6	18.0	2.16	0.54	1350

付表 1.3　固有振動数の一覧

次　数	固有振動数 〔Hz〕	固有周期 〔sec〕	有効質量比 〔%〕	累積有効質量比 〔%〕
1	5.46	0.183	88.8	88.8
2	5.61	0.178	0.0	88.8
3	9.75	0.103	0.1	88.9
4	41.86	0.024	0.0	88.9
5	58.21	0.017	2.3	91.2
6	63.37	0.016	0.0	91.2
7	63.37	0.016	0.0	91.2
8	63.37	0.016	0.0	91.2
9	65.57	0.015	2.0	93.2
10	65.84	0.015	0.0	93.2
11	73.38	0.014	3.8	97.0

付表 1.4　動的解析と振動実験による応答倍率の比較

着目点	節点番号	減衰定数	2 Hz		6 Hz		10 Hz	
			計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値
橋脚 1　天端	1	0.20	1.16	1.18	2.36	2.02	0.58	0.58
		0.25	1.15		2.02		0.60	
		0.30	1.15		1.80		0.63	
上部工中間点	3	0.20	1.16	1.18	2.46	2.07	0.54	0.51
		0.25	1.16		2.10		0.57	
		0.30	1.16		1.85		0.60	
橋脚 2　天端	5	0.20	1.16	1.13	2.47	1.82	0.51	0.37
		0.25	1.16		2.11		0.54	
		0.30	1.16		1.86		0.58	
橋脚 1　フーチング	11	0.20	1.16	1.19	2.34	1.93	0.57	0.48
		0.25	1.15		2.01		0.59	
		0.30	1.15		1.79		0.62	
橋脚 2　フーチング	23	0.20	1.16	1.13	2.45	1.77	0.50	0.30
		0.25	1.16		2.09		0.54	
		0.30	1.15		1.85		0.57	
橋脚 1　基部 (曲げモーメント)	—	0.20	2.45 1)	3.60	5.06	4.90	1.15	1.20
		0.25	2.43		4.15		1.13	
		0.30	2.41		3.52		1.10	
橋脚 2　基部 (曲げモーメント)	—	0.20	2.73	1.60	5.27	5.20	1.18	1.30
		0.25	2.71		4.35		1.14	
		0.30	2.69		3.69		1.10	

注)　1)　単位は〔kg cm/gal〕

付表 1.5　動的解析と振動実験による応答倍率の比較（正弦波位相差入力）

(a)　$f = 2$〔Hz〕

着目点		位相差 0		$\pi/2$		π	
		計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値
橋脚1	フーチング	1.20	1.19	1.19	1.17	0.58	0.65
	橋脚天端	1.20	1.18	1.19	1.18	0.58	0.62
	橋脚基部（曲げモーメント）	3.55 1)	3.73	9.90	8.40	15.25	10.92
橋脚2	フーチング	1.11	1.13	0.65	0.69	0.18	0.25
	橋脚天端	1.12	1.08	0.65	0.63	0.17	0.18
	橋脚基部（曲げモーメント）	0.90	1.65	13.00	10.25	27.39	21.27
橋脚3	フーチング	1.20	1.19	1.19	1.22	0.62	0.69
	橋脚天端	1.20	1.18	1.19	1.21	0.62	0.66
	橋脚基部（曲げモーメント）	3.44	3.57	8.31	6.97	14.06	10.13

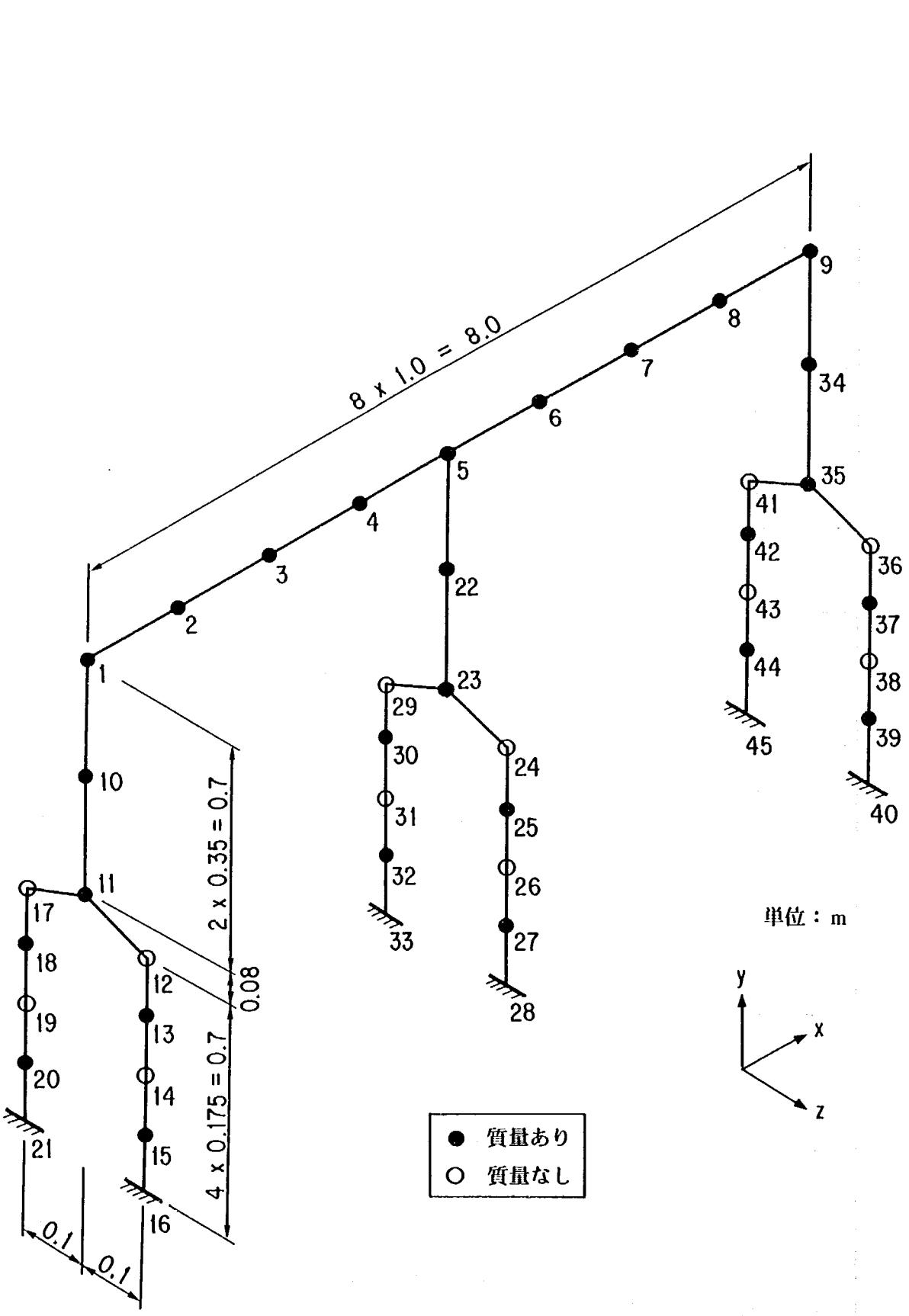
注）　1）単位は〔kg cm/gal〕

(b)　$f = 6$〔Hz〕

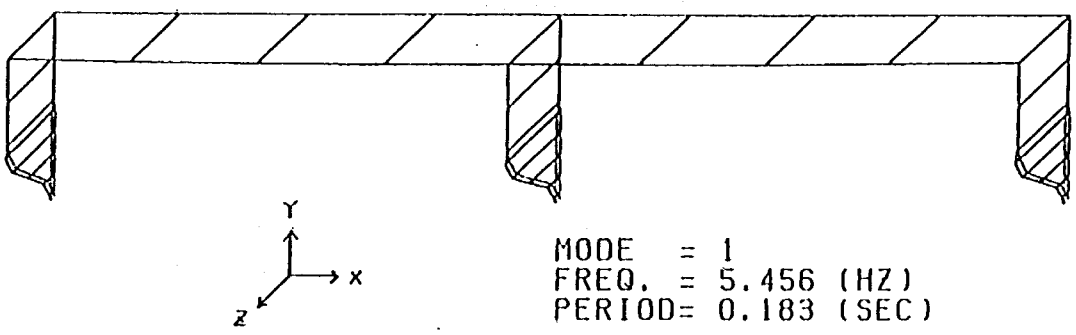
着目点		位相差 0		$\pi/2$		π	
		計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値
橋脚1	フーチング	1.91	1.89	1.83	2.47	0.71	0.59
	橋脚天端	1.93	2.00	1.85	2.60	0.70	0.54
	橋脚基部（曲げモーメント）	3.93	4.92	4.90	5.67	2.81	2.81
橋脚2	フーチング	1.72	1.77	0.80	0.26	0.69	1.31
	橋脚天端	1.74	1.82	0.80	0.34	0.68	1.21
	橋脚基部（曲げモーメント）	3.63	5.25	2.92	3.64	3.48	2.24
橋脚3	フーチング	1.89	1.97	2.26	2.35	0.75	0.47
	橋脚天端	1.90	2.04	2.27	2.39	0.75	0.49
	橋脚基部（曲げモーメント）	3.86	4.87	2.82	4.73	2.73	2.97

(c)　$f = 10$〔Hz〕

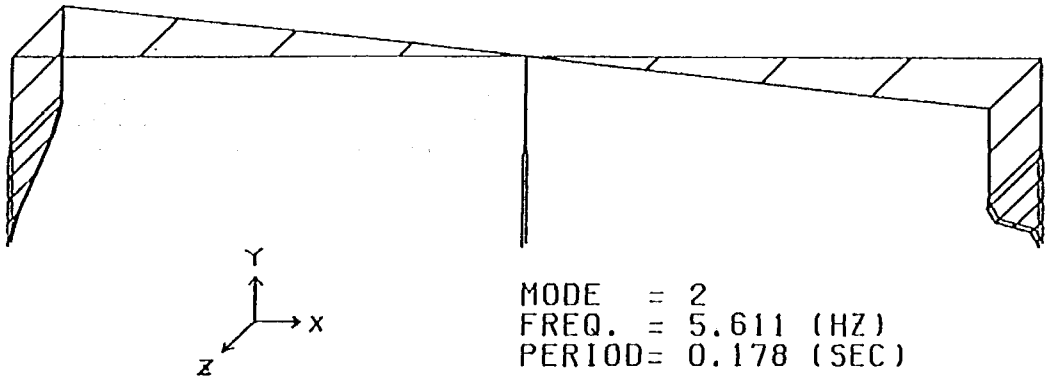
着目点		位相差 0		$\pi/2$		π	
		計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値
橋脚1	フーチング	0.52	0.46	0.34	0.46	0.77	1.17
	橋脚天端	0.53	0.58	0.34	0.55	0.76	1.23
	橋脚基部（曲げモーメント）	0.96	1.20	1.35	1.31	0.93	0.63
橋脚2	フーチング	0.50	0.30	0.64	0.78	0.85	1.39
	橋脚天端	0.50	0.37	0.63	0.80	0.84	1.33
	橋脚基部（曲げモーメント）	0.96	1.30	0.92	0.73	1.11	0.25
橋脚3	フーチング	0.52	0.49	0.74	0.66	0.75	1.19
	橋脚天端	0.53	0.59	0.74	0.75	0.75	1.18
	橋脚基部（曲げモーメント）	1.04	1.21	0.71	1.43	0.97	0.64



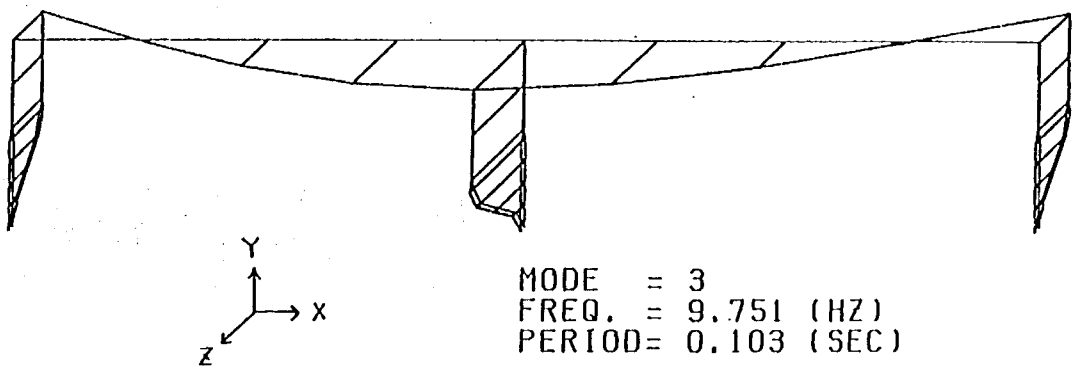
付図 1.1　2径間連続高架橋模型の解析モデル



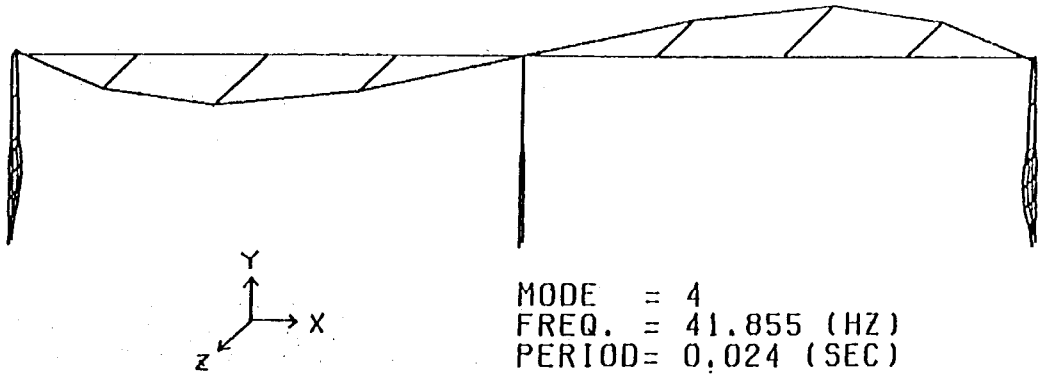
(a) 1次モード



(b) 2次モード

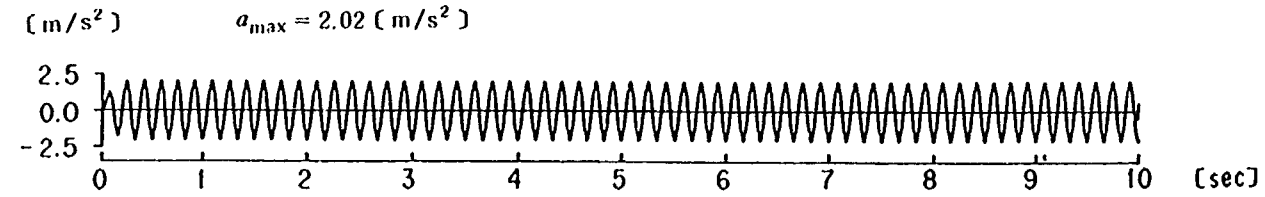


(c) 3次モード

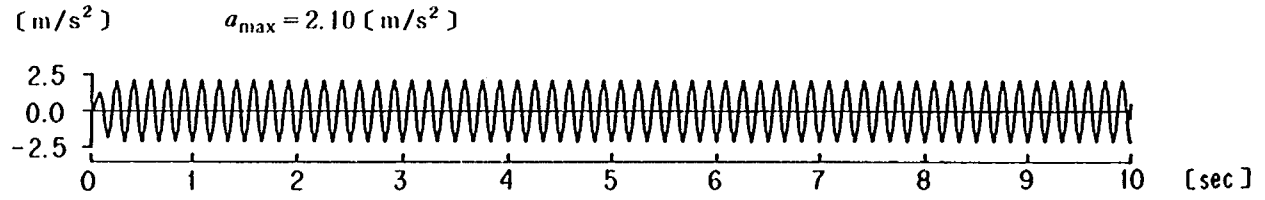


(d) 4次モード

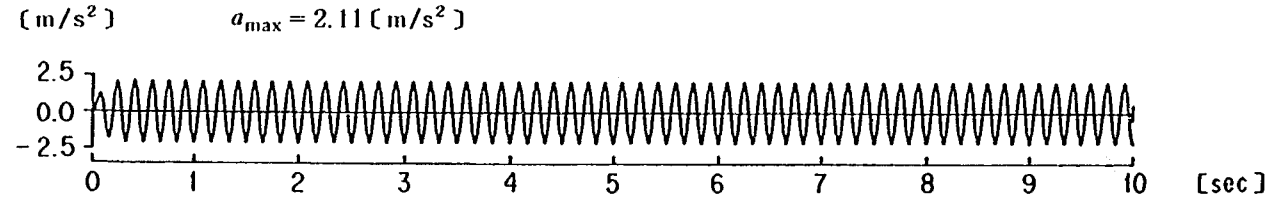
付図 1.2 固有振動モード



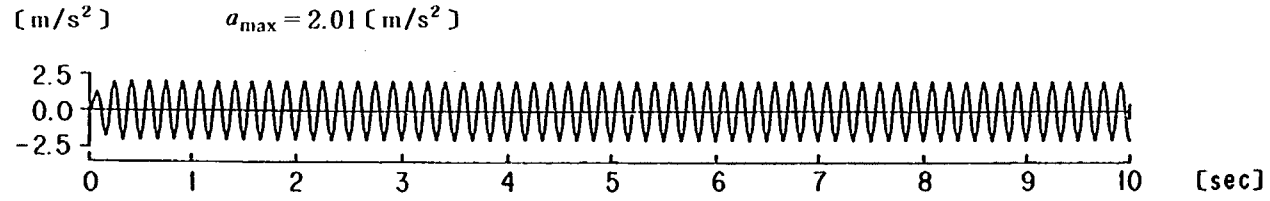
(a) 橋脚1，天端



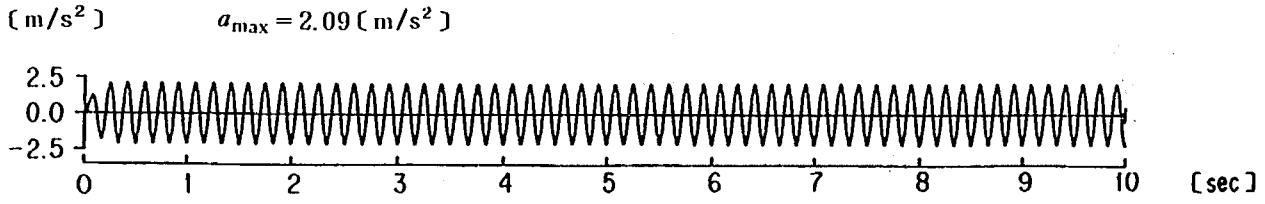
(b) 上部工，橋脚1および2の中央



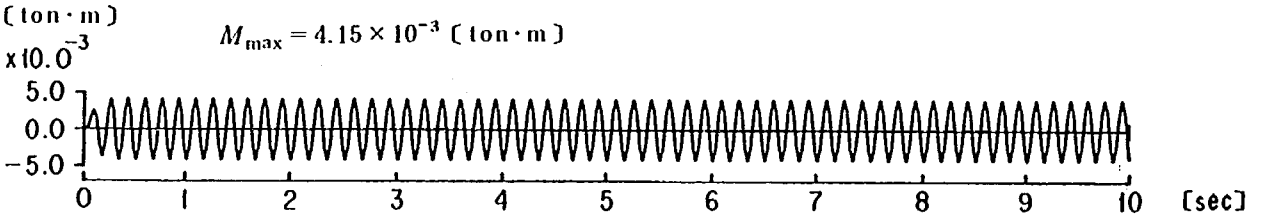
(c) 橋脚2，天端



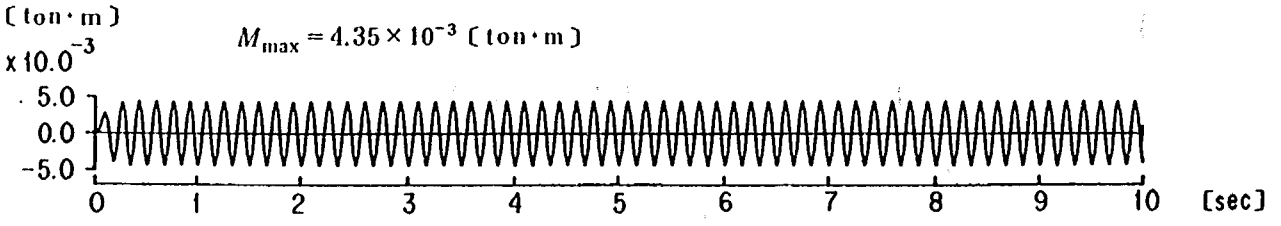
(d) 橋脚1，フーチング



(e) 橋脚2，フーチング

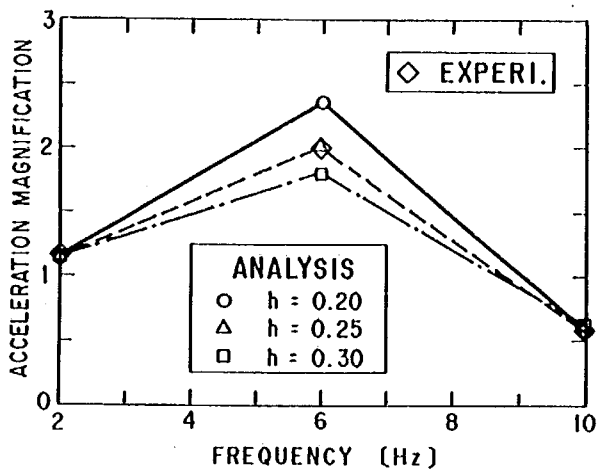


(f) 橋脚1，橋脚基部（曲げモーメント）

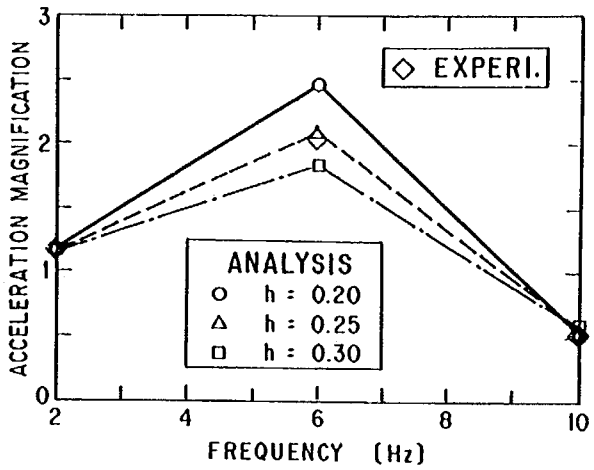


(g) 橋脚2，橋脚基部（曲げモーメント）

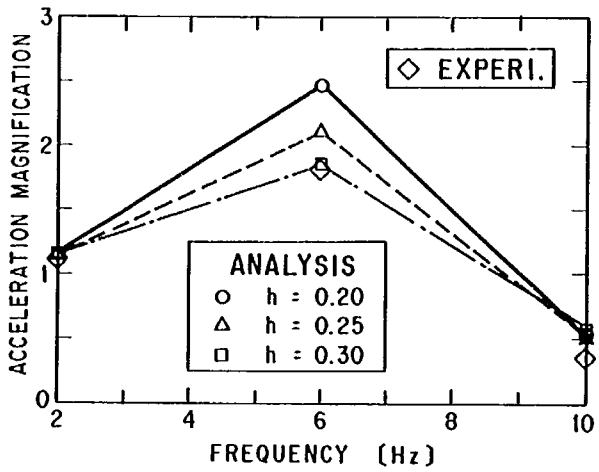
付図1.3 動的解析による応答波形の例（入力最大加速度：100gal，振動数：6Hz，減衰定数：0.25）



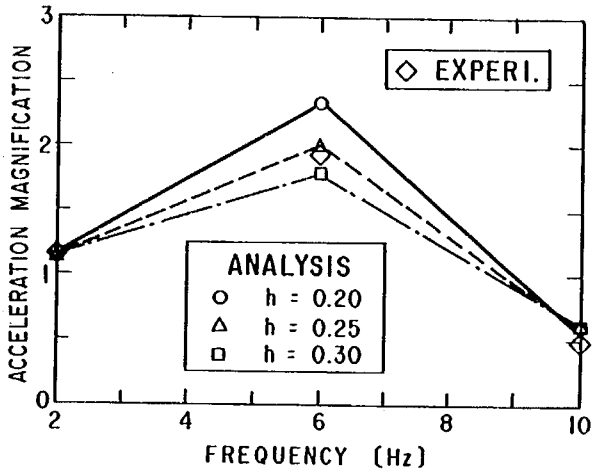
(a) 橋脚1，天端



(b) 上部工，橋脚1および2の中央

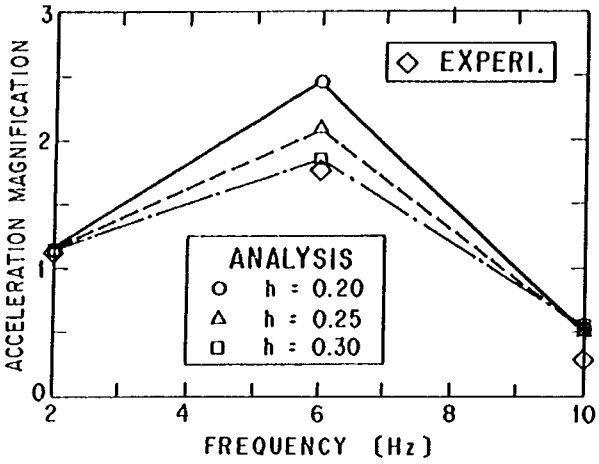


(c) 橋脚2，天端

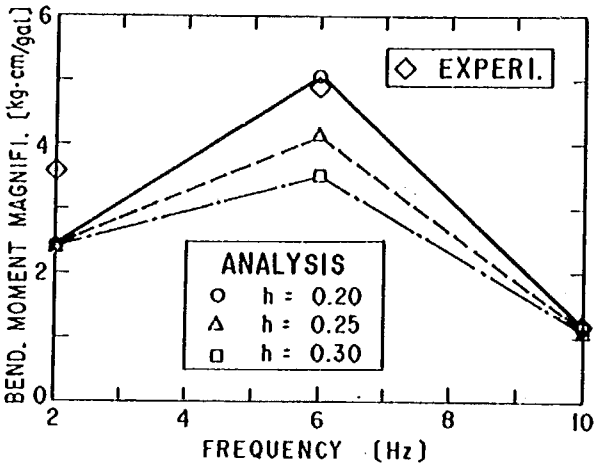


(d) 橋脚1，フーチング

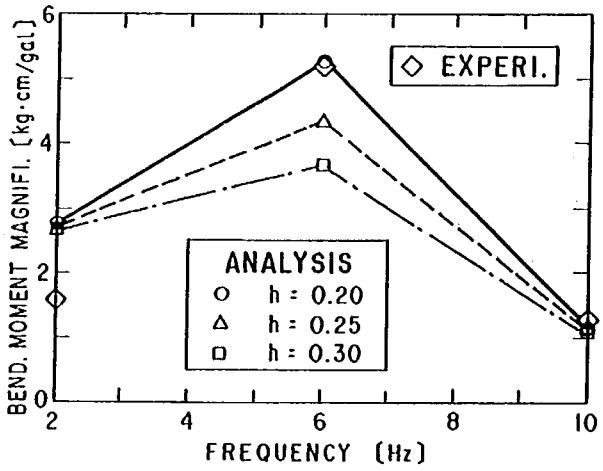
付図 1.4(1) 動的解析と振動実験による応答倍率の比較



(e) 橋脚2，フーチング

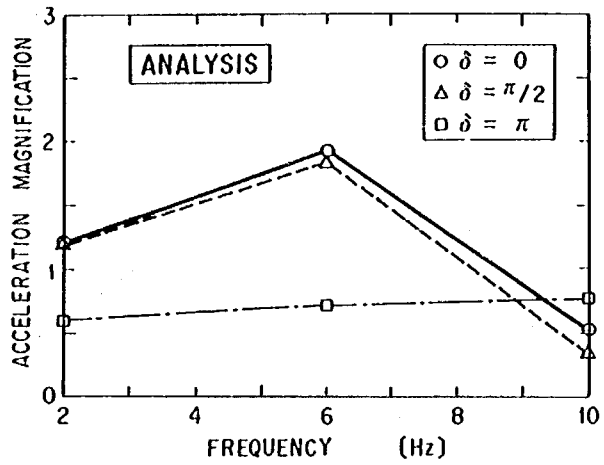


(f) 橋脚1，基部（曲げモーメント）

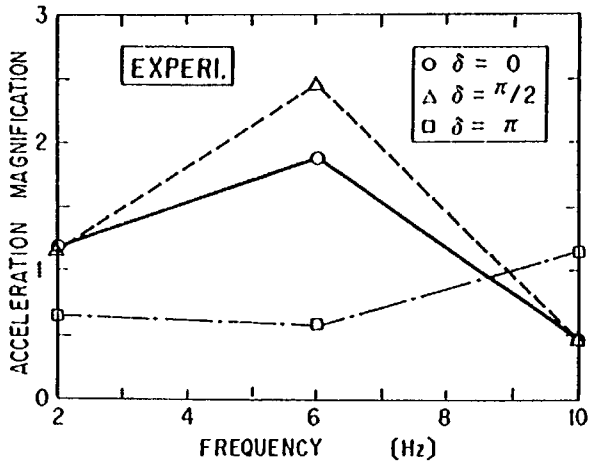


(g) 橋脚2，基部（曲げモーメント）

付図 1.4(2)　動的解析と振動実験による応答倍率の比較

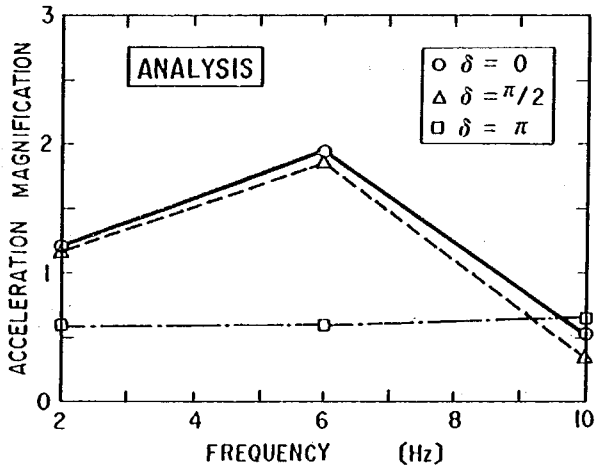


(i) 動的解析

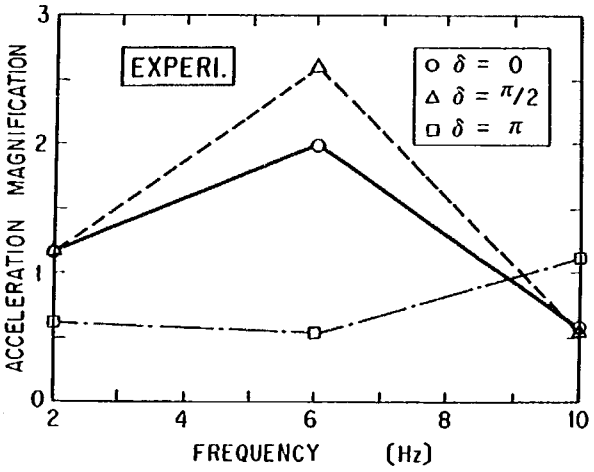


(ii) 振動実験

(a) 橋脚1，フーチング

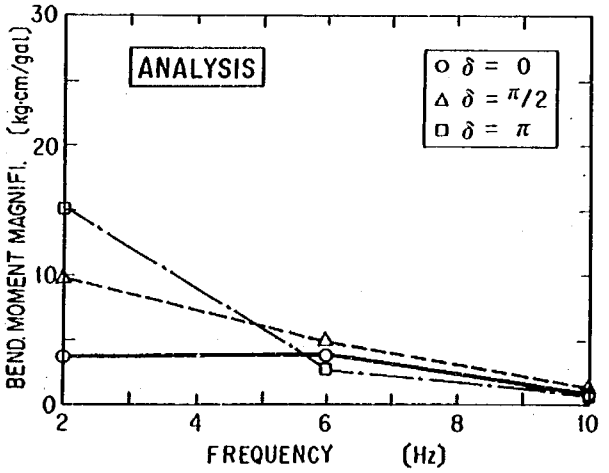


(i) 動的解析

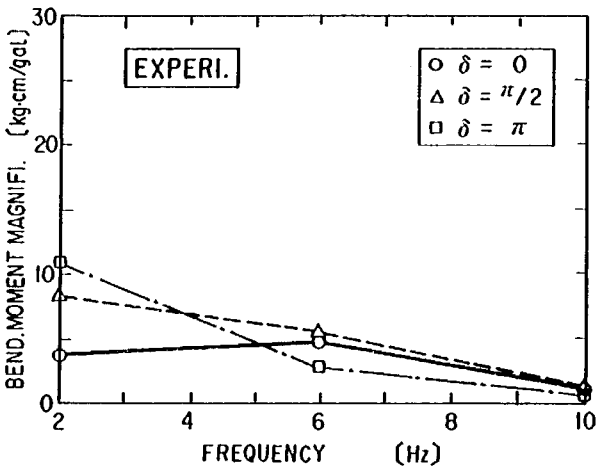


(ii) 振動実験

(b) 橋脚1，天端



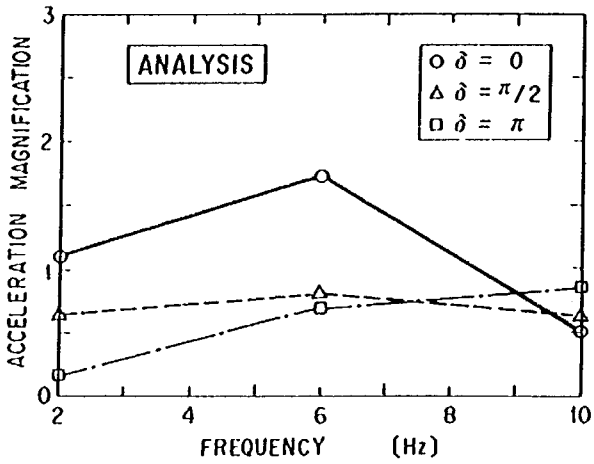
(i) 動的解析



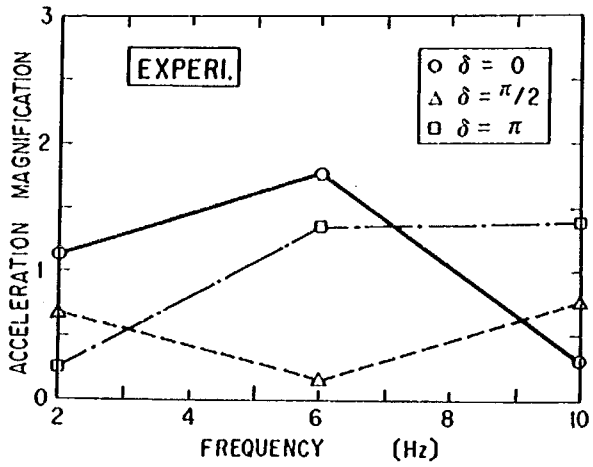
(ii) 振動実験

(c) 橋脚1，基部（曲げモーメント）

付図 1.5(1) 動的解析と振動実験による応答倍率の比較（正弦波位相差入力）

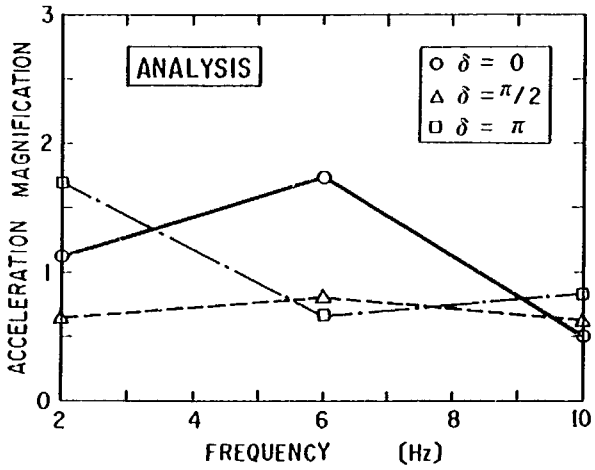


(i) 動的解析

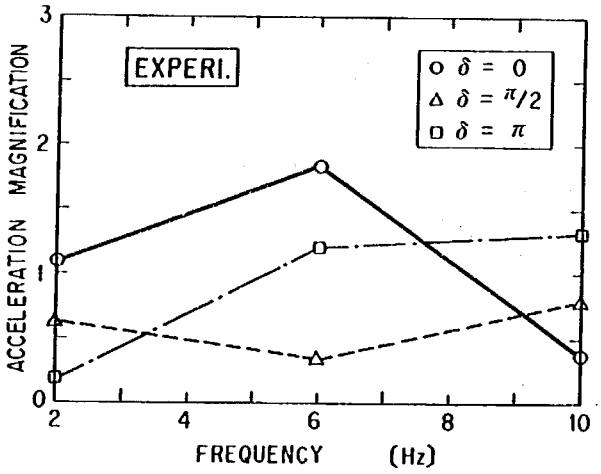


(ii) 振動実験

(d) 橋脚2，フーチング

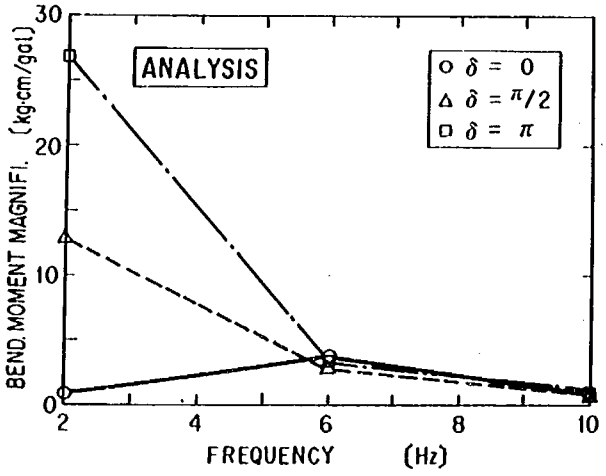


(i) 動的解析

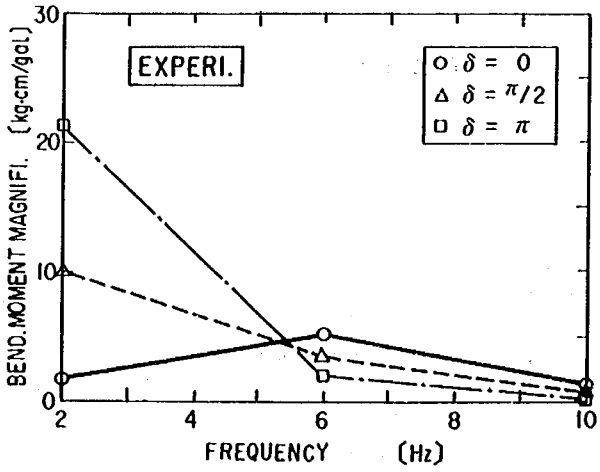


(ii) 振動実験

(e) 橋脚2，天端



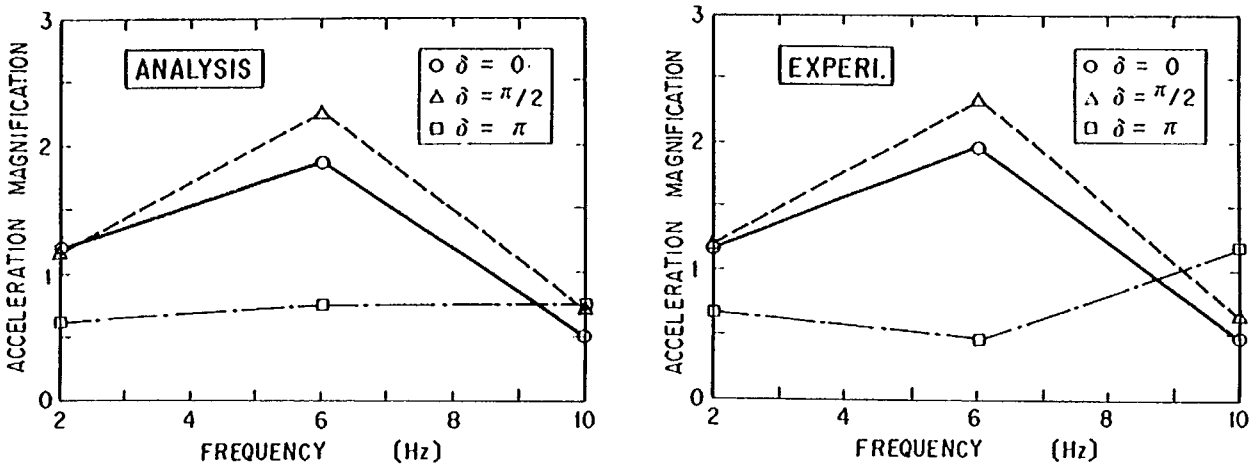
(i) 動的解析



(ii) 振動実験

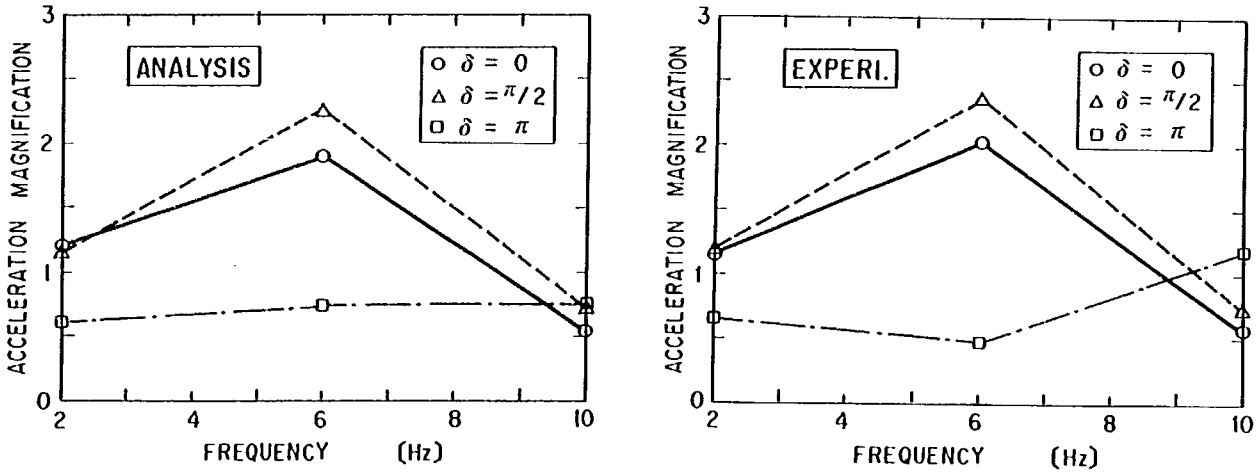
(f) 橋脚2，基部（曲げモーメント）

付図 1.5(2) 動的解析と振動実験による応答倍率の比較（正弦波位相差入力）



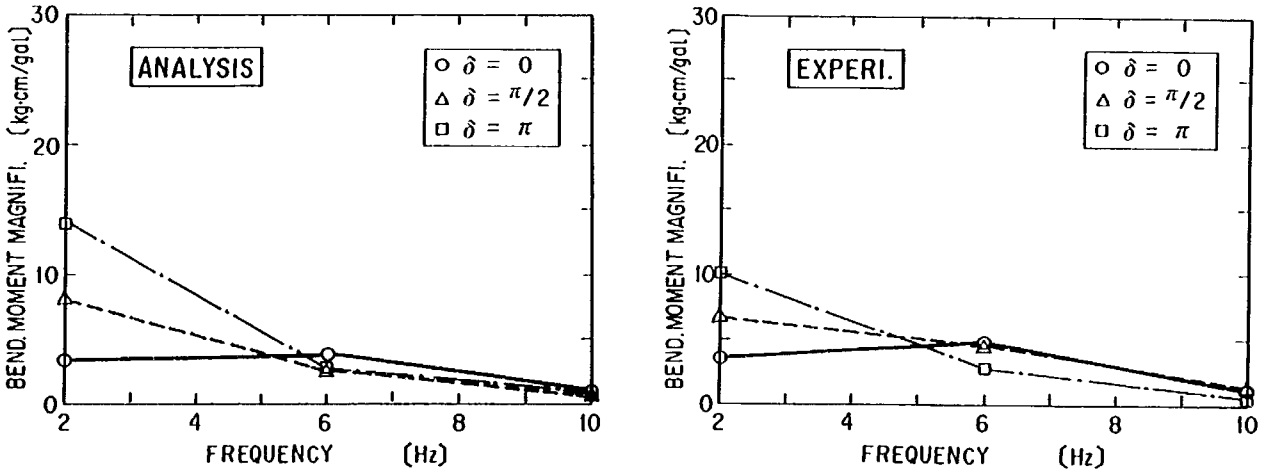
(i) 動的解析　　(ii) 振動実験

(g) 橋脚3，フーチング



(i) 動的解析　　(ii) 振動実験

(h) 橋脚3，天端



(i) 動的解析　　(ii) 振動実験

(i) 橋脚3，基部（曲げモーメント）

付図 1.5(3) 動的解析と振動実験による応答倍率の比較（正弦波位相差入力）

付　属　資　料　2

ひずみから曲げモーメントへの換算方法

2. ひずみから曲げモーメントへの換算方法

曲げモーメントMを受けるある断面の最外縁における応力σは，次のように表される。

$$\sigma = \frac{M}{I} x \quad \cdots\cdots (付2.1)$$

ここで，Iおよびxは，それぞれ，断面2次モーメントおよび中立軸から最外縁までの距離である。また，ヤング率をEとすれば，応力σとひずみεとの関係式は次のとおりである。

$$\sigma = E \varepsilon \quad \cdots\cdots (付2.2)$$

式（付2.1）および式（付2.2）より，曲げモーメントとひずみの関係は次のように表される。

$$M = \frac{EI}{x} \varepsilon \quad \cdots\cdots (付2.3)$$

ここで，板ばねおよび橋脚の断面形状は付表2.1.に示すとおりである。これらより板ばねおよび橋脚についてひずみから曲げモーメントへの換算式を求めると次のようになる。

$$M = \frac{2.1 \times 10^6 \times 0.54}{0.3} \varepsilon$$

$$= 3.78 \times 10^6 \varepsilon \ 〔kgcm〕 \quad ：板ばね \quad \cdots\cdots (付2.4)$$

$$M = \frac{2.1 \times 10^6 \times 281}{5} \varepsilon$$

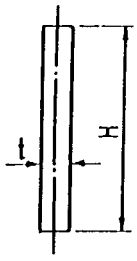
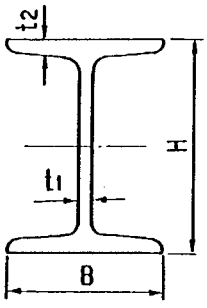
$$= 118 \times 10^6 \varepsilon \ 〔kgcm〕 \quad ：橋　脚 \quad \cdots\cdots (付2.5)$$

ただし，実際の計測では4倍感度でひずみの測定を行うため，換算式は，それぞれ，次のようになる。

$$M = 0.945 \times 10^6 \varepsilon \ 〔kgcm〕 \quad ：板ばね \quad \cdots\cdots (付2.6)$$

$$M = 29.5 \times 10^6 \varepsilon \ 〔kgcm〕 \quad ：橋　脚 \quad \cdots\cdots (付2.7)$$

付表 2.1　板ばねおよび橋脚の断面諸量

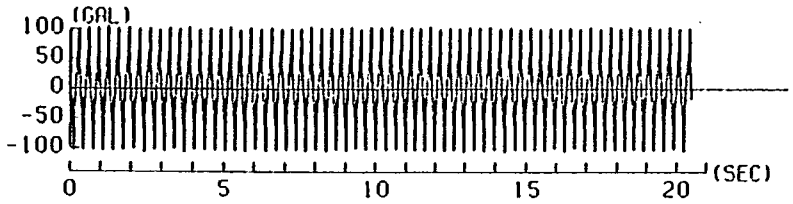
	断　面　形　状	断　面　寸　法 (mm)	断面2次モーメント (cm⁴)	中立軸から最外縁までの距離 (cm)
板ばね		$H = 300$ $t = 6$	0.54	0.3
橋　脚		$H = 100$ $B = 75$ $t_1 = 5$ $t_2 = 8$	281	5

付　属　資　料　3

振動実験の記録波形例

INDEX NO. 1
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 1
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=-107.2(GAL)

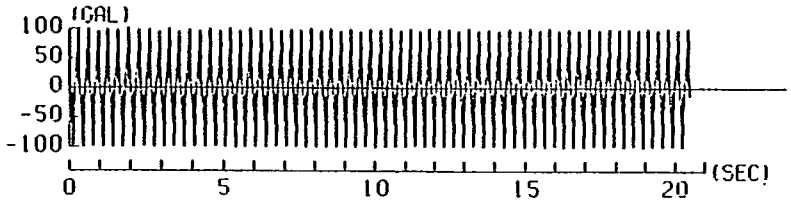
E.O. NO. 851224



(a) 橋脚1，入力

INDEX NO. 2
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 2
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=-101.2(GAL)

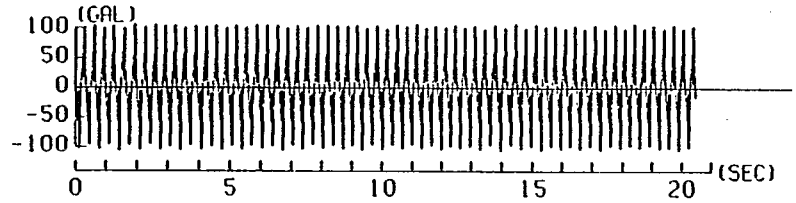
E.O. NO. 851224



(b) 橋脚2，入力

INDEX NO. 3
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 3
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=107.5(GAL)

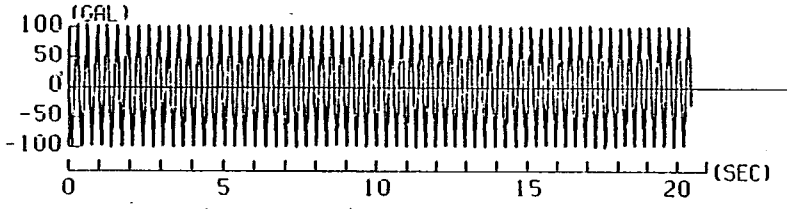
E.O. NO. 851224



(c) 橋脚3，入力

INDEX NO. 4
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 4
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=104.7(GAL)

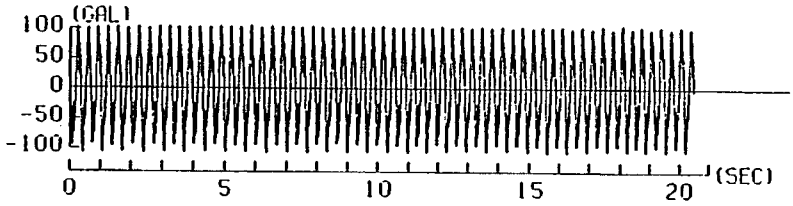
E.O. NO. 851224



(d) 橋脚1，フーチング

INDEX NO. 5
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 5
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=-108.4(GAL)

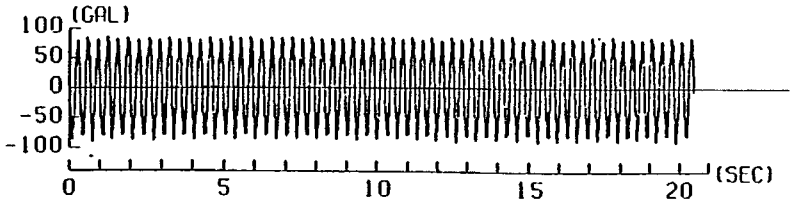
E.O. NO. 851224



(e) 橋脚2，フーチング

INDEX NO. 6
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 6
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=-90.5(GAL)

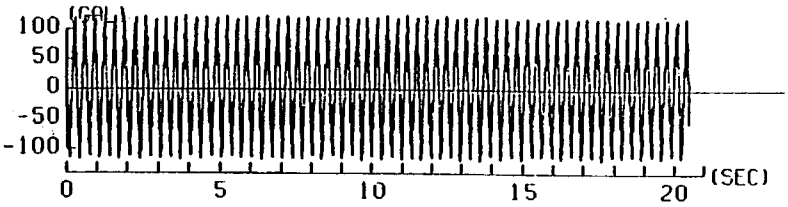
E.O. NO. 851224



(f) 橋脚3，フーチング

INDEX NO. 7
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 7
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=123.9(GAL)

E.O. NO. 851224

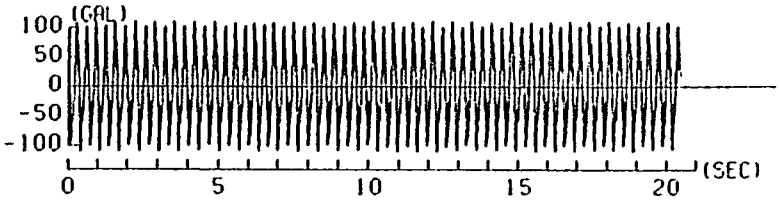


(g) 橋脚1，天端

付図 3.1(1) 正弦波位相差入力振動実験（振動数：3Hz，位相差：0）

INDEX NO. 8
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 8
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=-110.8(GAL)

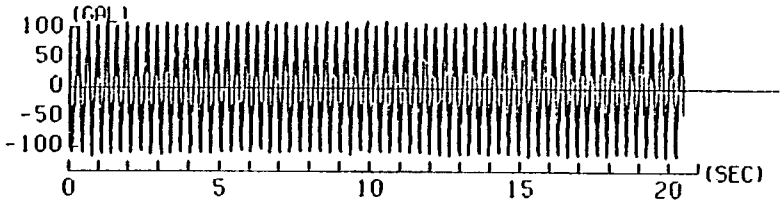
E.O. NO. 851224



(h) 橋脚2，天端

INDEX NO. 9
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 9
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=-116.8(GAL)

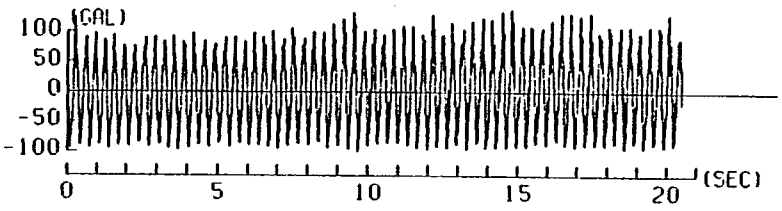
E.O. NO. 851224



(i) 橋脚3，天端

INDEX NO. 10
-- ﾀｲｶﾝ -- A-10
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=138.9(GAL)

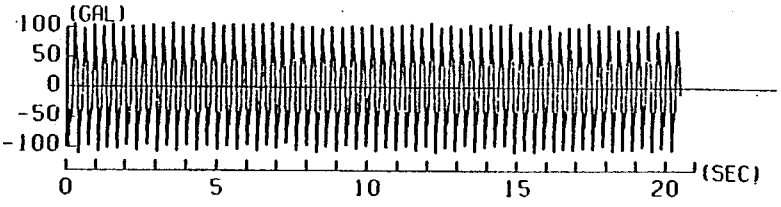
E.O. NO. 851224



(j) 上部工，橋脚1および2の中央

INDEX NO. 11
-- ﾀｲｶﾝ -- A-11
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=-111.8(GAL)

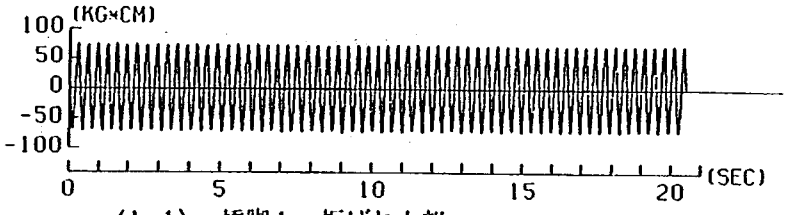
E.O. NO. 851224



(k) 上部工，橋脚2および3の中央

INDEX NO. 12
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 1
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=73.9(KG×CM)

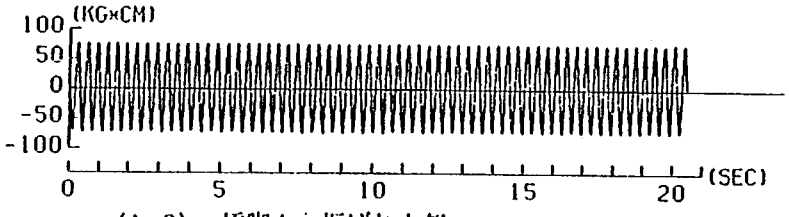
E.O. NO. 851224



(1-1) 橋脚1，板ばね上部

INDEX NO. 13
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 2
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=75.6(KG×CM)

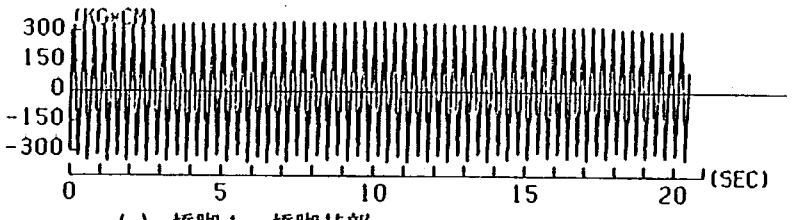
E.O. NO. 851224



(1-2) 橋脚1，板ばね上部

INDEX NO. 14
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 3
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=-357.2(KG×CM)

E.O. NO. 851224

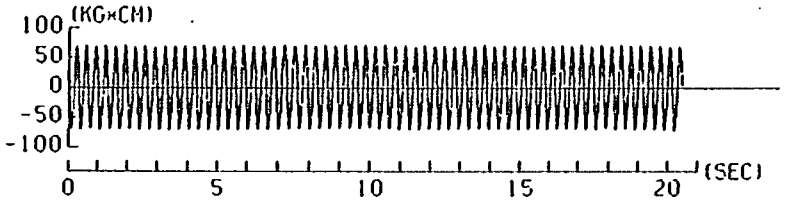


(m) 橋脚1，橋脚基部

付図 3.1(2) 正弦波位相差入力振動実験（振動数：3 Hz，位相差：0 °）

INDEX NO. 15
-- ﾀｲｶﾝ --　S- 4
ﾚﾝｿﾞｸ　3HZ　0
MAX.=72.3(KG×CM)

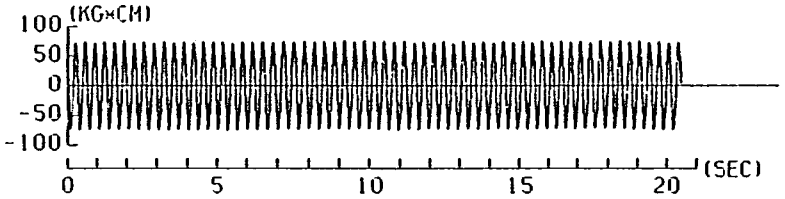
E.O. NO. 851224



(n-1)　橋脚2，板ばね上部

INDEX NO. 16
-- ﾀｲｶﾝ --　S- 5
ﾚﾝｿﾞｸ　3HZ　0
MAX.=76.4(KG×CM)

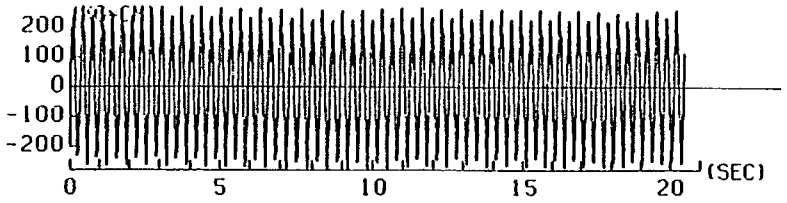
E.O. NO. 851224



(n-2)　橋脚2，板ばね上部

INDEX NO. 17
-- ﾀｲｶﾝ --　S- 6
ﾚﾝｿﾞｸ　3HZ　0
MAX.=-282.7(KG×CM)

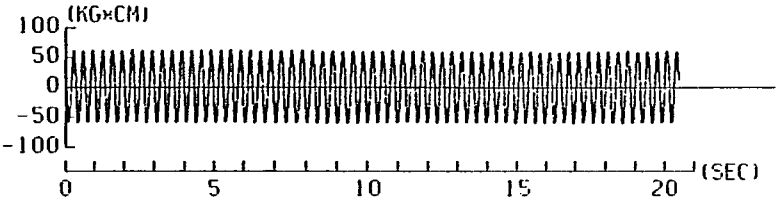
E.O. NO. 851224



(o)　橋脚2，橋脚基部

INDEX NO. 18
-- ﾀｲｶﾝ --　S- 7
ﾚﾝｿﾞｸ　3HZ　0
MAX.=62.9(KG×CM)

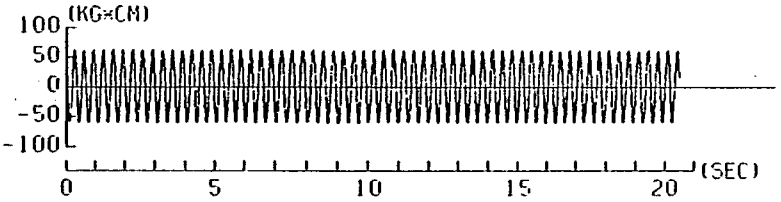
E.O. NO. 851224



(p-1)　橋脚3，板ばね上部

INDEX NO. 19
-- ﾀｲｶﾝ --　S- 8
ﾚﾝｿﾞｸ　3HZ　0
MAX.=62.7(KG×CM)

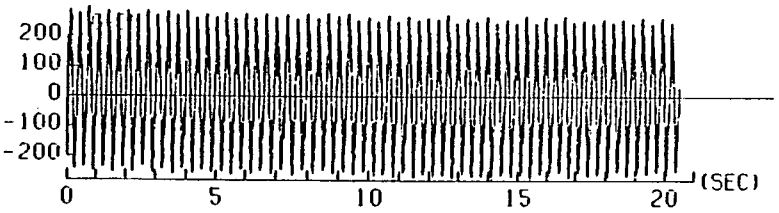
E.O. NO. 851224



(p-2)　橋脚3，板ばね上部

INDEX NO. 20
-- ﾀｲｶﾝ --　S- 9
ﾚﾝｿﾞｸ　3HZ　0
MAX.=299.0(KG×CM)

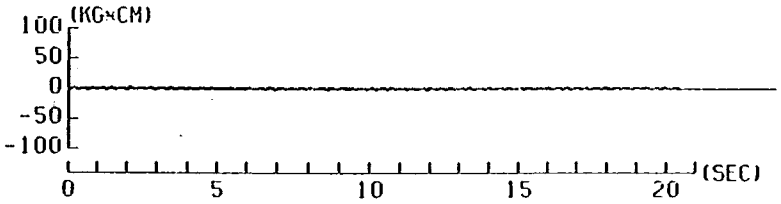
E.O. NO. 851224



(q)　橋脚3，橋脚基部

INDEX NO. 21
-- ﾀｲｶﾝ --　S-10
ﾚﾝｿﾞｸ　3HZ　0
MAX.=3.3(KG×CM)

E.O. NO. 851224

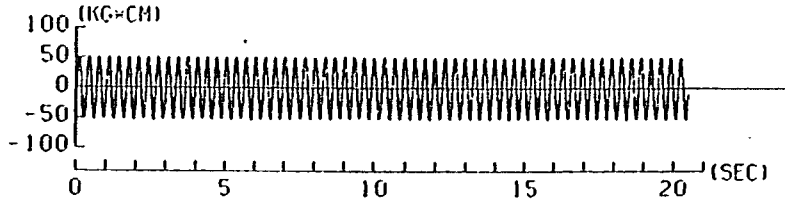


(r)　橋脚3，板ばね中央部

付図 3.1(3)　正弦波位相差入力振動実験（振動数：3 Hz，位相差：0）

INDEX NO. 22
-- ﾀｲｶﾝ -- S-11
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=-53.6(KG*CM)

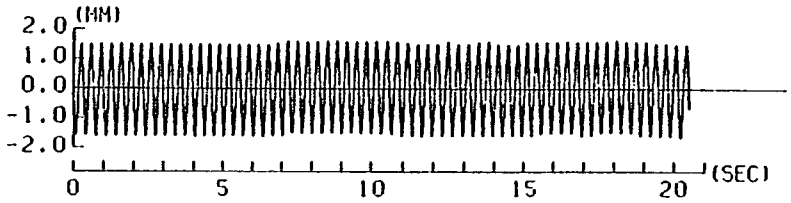
E.O. NO. 851224



(s) 橋脚3，板ばね基部

INDEX NO. 23
-- ﾀｲｶﾝ -- D- 1
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=-1.657(MM)

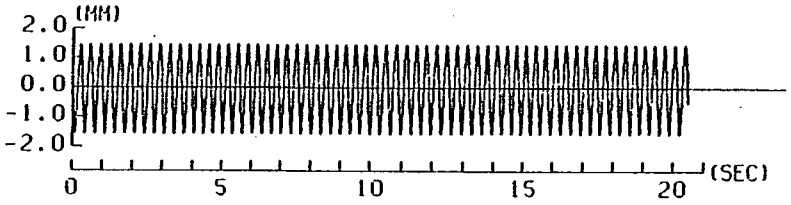
E.O. NO. 851224



(t) 振動台 1

INDEX NO. 24
-- ﾀｲｶﾝ -- D- 2
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=-1.569(MM)

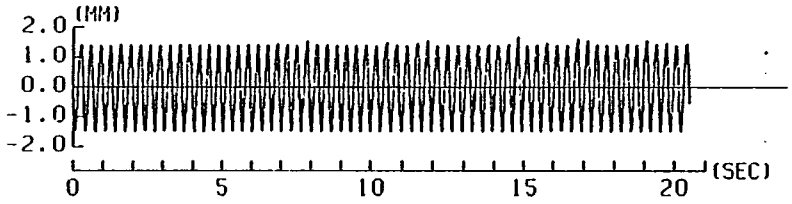
E.O. NO. 851224



(u) 振動台 2

INDEX NO. 25
-- ﾀｲｶﾝ -- D- 3
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=1.685(MM)

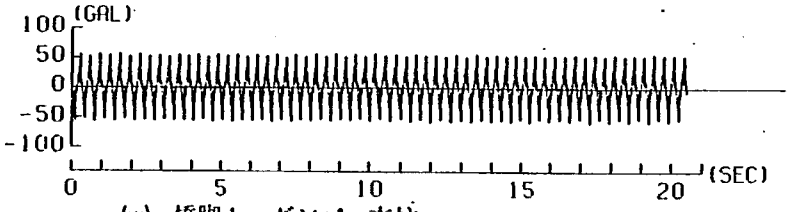
E.O. NO. 851224



(v) 振動台 3

INDEX NO. 26
-- ﾀｲｶﾝ -- A-12
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=-58.2(GAL)

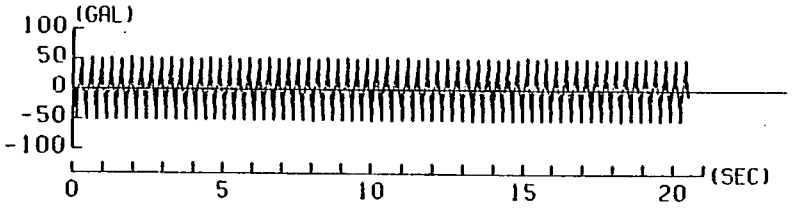
E.O. NO. 851224



(w) 橋脚1，ダンパー支柱

INDEX NO. 27
-- ﾀｲｶﾝ -- A-13
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=53.2(GAL)

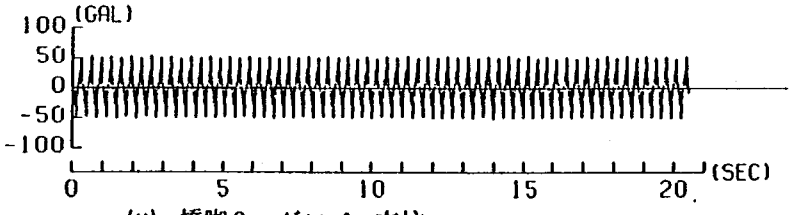
E.O. NO. 851224



(x) 橋脚2，ダンパー支柱

INDEX NO. 28
-- ﾀｲｶﾝ -- A-14
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 0
MAX.=53.3(GAL)

E.O. NO. 851224

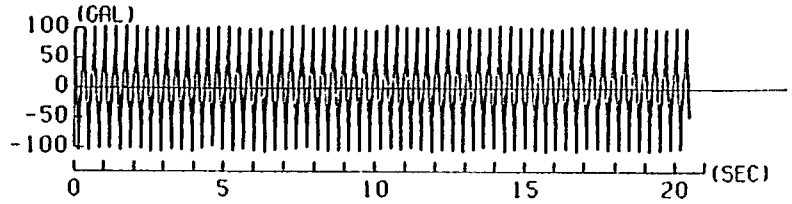


(y) 橋脚3，ダンパー支柱

付図 3.1(4) 正弦波位相差入力振動実験（振動数：3 Hz，位相差：0）

INDEX NO. 29
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 1
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 90
MAX.=-108.7(GAL)

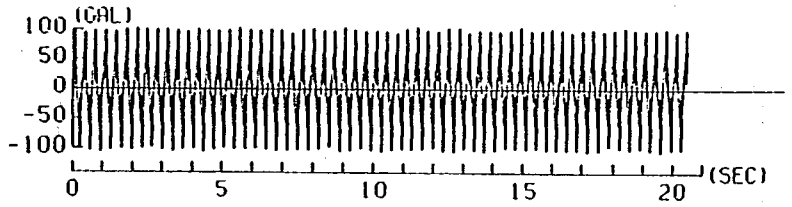
E.Q. NO. 851224



(a) 橋脚1，入力

INDEX NO. 30
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 2
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 90
MAX.=-106.3(GAL)

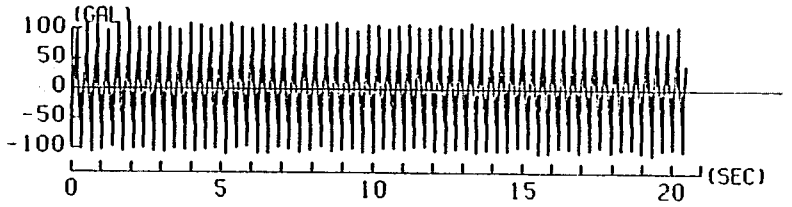
E.Q. NO. 851224



(b) 橋脚2，入力

INDEX NO. 31
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 3
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 90
MAX.=113.5(GAL)

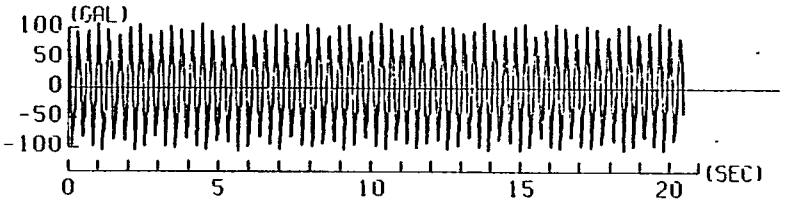
E.Q. NO. 851224



(c) 橋脚3，入力

INDEX NO. 32
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 4
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 90
MAX.=110.3(GAL)

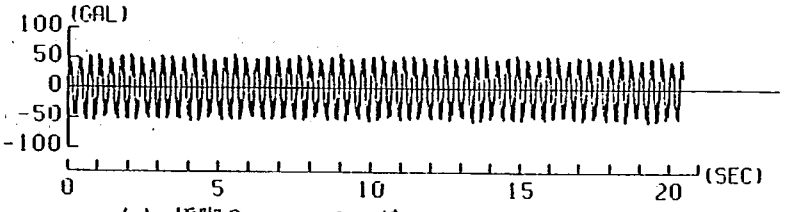
E.Q. NO. 851224



(d) 橋脚1，フーチング

INDEX NO. 33
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 5
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 90
MAX.=57.8(GAL)

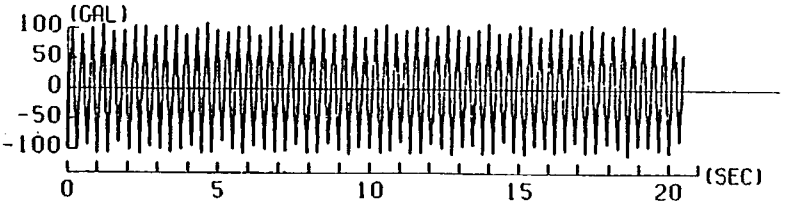
E.Q. NO. 851224



(e) 橋脚2，フーチング

INDEX NO. 34
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 6
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 90
MAX.=-110.8(GAL)

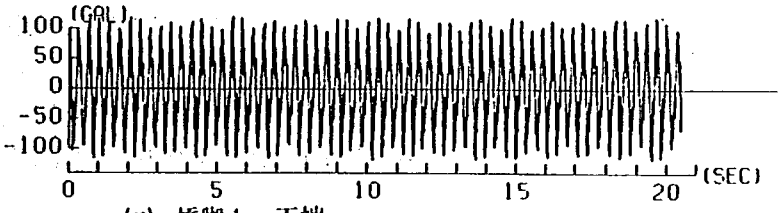
E.Q. NO. 851224



(f) 橋脚3，フーチング

INDEX NO. 35
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 7
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 90
MAX.=120.2(GAL)

E.Q. NO. 851224

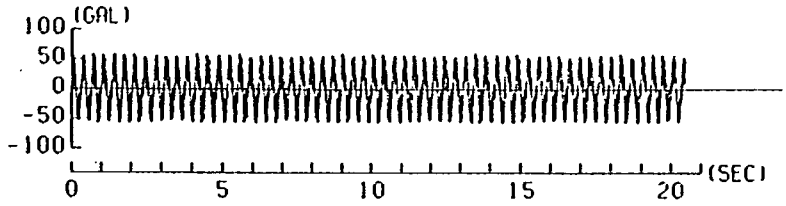


(g) 橋脚1，天端

付図 3.2(1) 正弦波位相差入力振動実験（振動数：3 Hz，位相差：$\pi/2$）

INDEX NO. 36
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 8
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 90
MAX.=59.8(GAL)

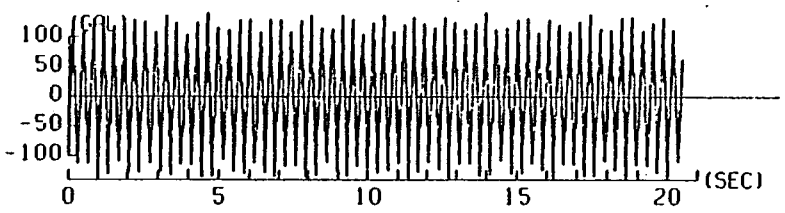
E.O. NO. 851224



(h) 橋脚２，天端

INDEX NO. 37
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 9
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 90
MAX.=142.0(GAL)

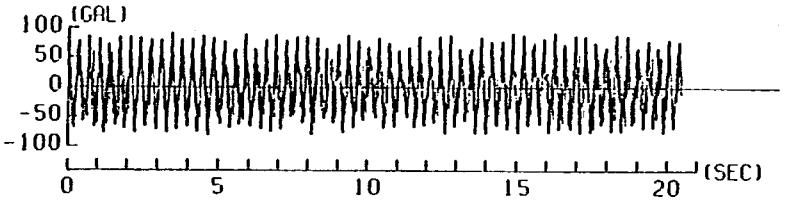
E.O. NO. 851224



(i) 橋脚３，天端

INDEX NO. 38
-- ﾀｲｶﾝ -- A-10
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 90
MAX.=92.5(GAL)

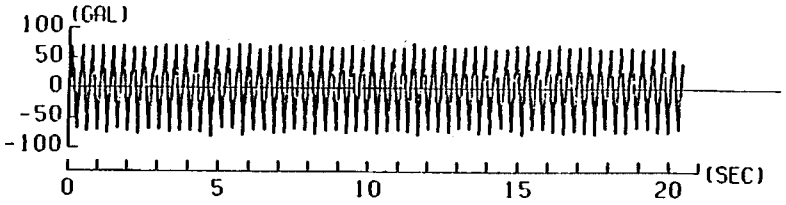
E.O. NO. 851224



(j) 上部工，橋脚１および２の中央

INDEX NO. 39
-- ﾀｲｶﾝ -- A-11
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 90
MAX.=-81.2(GAL)

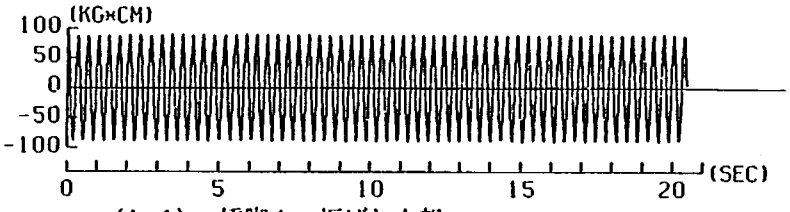
E.O. NO. 851224



(k) 上部工，橋脚２および３の中央

INDEX NO. 40
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 1
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 90
MAX.=89.8(KG×CM)

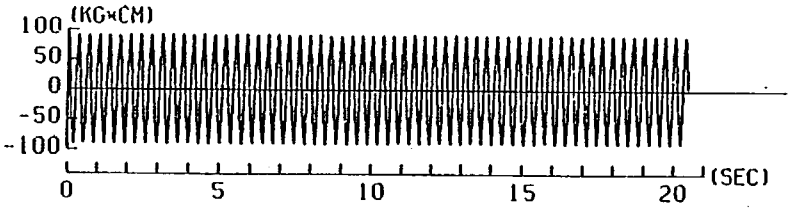
E.O. NO. 851224



(1-1) 橋脚１，板ばね上部

INDEX NO. 41
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 2
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 90
MAX.=91.7(KG×CM)

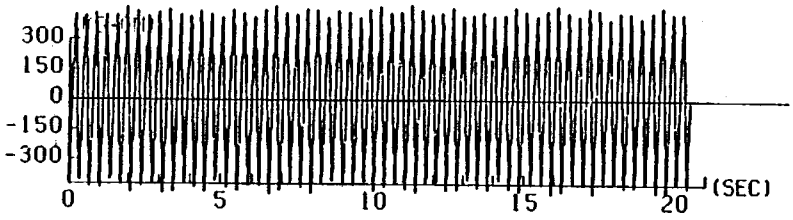
E.O. NO. 851224



(1-2) 橋脚１，板ばね上部

INDEX NO. 42
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 3
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 90
MAX.=471.7(KG×CM)

E.O. NO. 851224

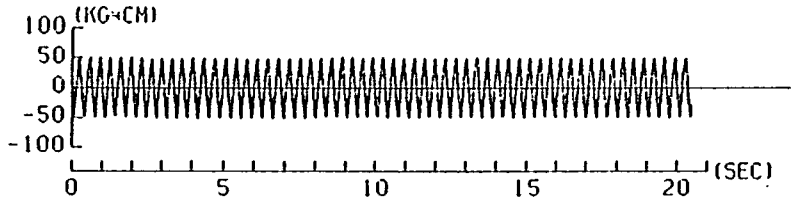


(m) 橋脚１，橋脚基部

付図 3.2(2) 正弦波位相差入力振動実験（振動数：3 Hz，位相差：$\pi/2$）

INDEX NO. 43
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 4
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 90
MAX.=-51.9(KG×CM)

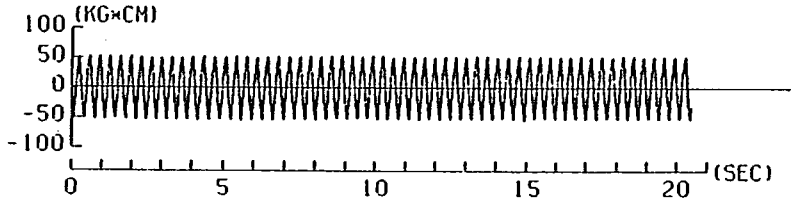
E.O. NO. 851224



(n-1) 橋脚2，板ばね上部

INDEX NO. 44
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 5
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 90
MAX.=-55.0(KG×CM)

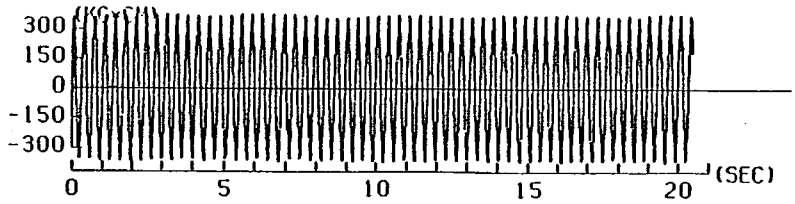
E.O. NO. 851224



(n-2) 橋脚2，板ばね上部

INDEX NO. 45
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 6
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 90
MAX.=378.2(KG×CM)

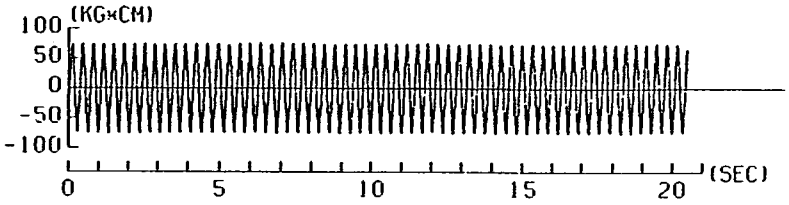
E.O. NO. 851224



(o) 橋脚2，橋脚基部

INDEX NO. 46
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 7
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 90
MAX.=-76.1(KG×CM)

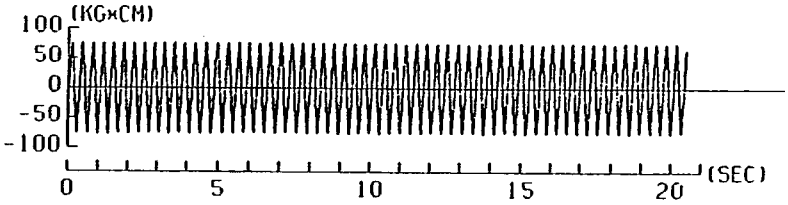
E.O. NO. 851224



(p-1) 橋脚3，板ばね上部

INDEX NO. 47
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 8
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 90
MAX.=-77.0(KG×CM)

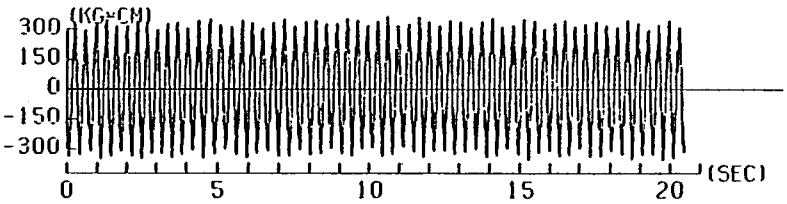
E.O. NO. 851224



(p-2) 橋脚3，板ばね上部

INDEX NO. 48
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 9
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 90
MAX.=362.2(KG×CM)

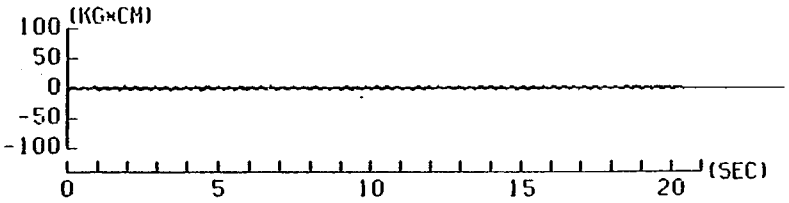
E.O. NO. 851224



(q) 橋脚3，橋脚基部

INDEX NO. 49
-- ﾀｲｶﾝ -- S-10
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 90
MAX.=-4.1(KG×CM)

E.O. NO. 851224

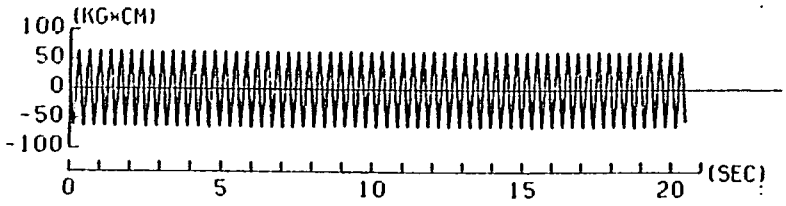


(r) 橋脚3，板ばね中央部

付図3.2(3) 正弦波位相差入力振動実験（振動数：3Hz，位相差：$\pi/2$）

INDEX NO. 50
-- ﾀｲｲｶﾝ -- S-11
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 90
MAX.=65.8(KG×CM)

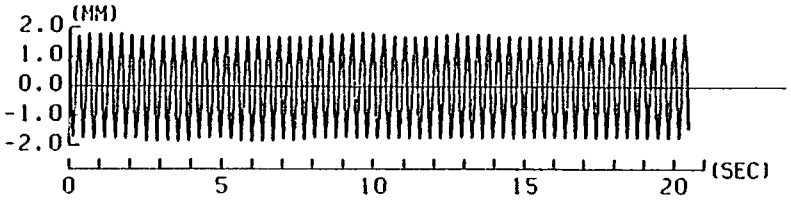
E.O. NO. 851224



(s) 橋脚3，板ばね基部

INDEX NO. 51
-- ﾀｲｲｶﾝ -- D- 1
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 90
MAX.=-1.880(MM)

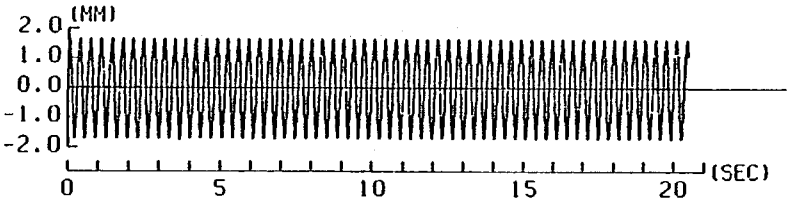
E.O. NO. 851224



(t) 振動台 1

INDEX NO. 52
-- ﾀｲｲｶﾝ -- D- 2
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 90
MAX.=-1.746(MM)

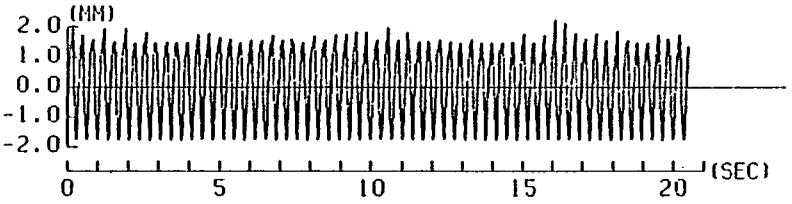
E.O. NO. 851224



(u) 振動台 2

INDEX NO. 53
-- ﾀｲｲｶﾝ -- D- 3
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 90
MAX.=2.227(MM)

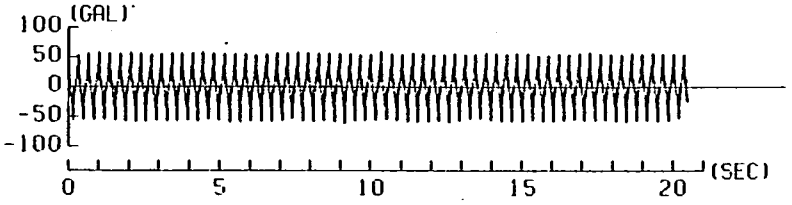
E.O. NO. 851224



(v) 振動台 3

INDEX NO. 54
-- ﾀｲｲｶﾝ -- A-12
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 90
MAX.=-60.7(GAL)

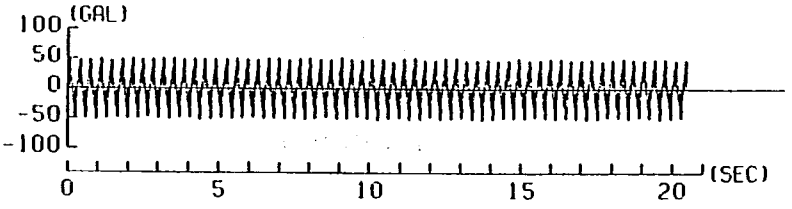
E.O. NO. 851224



(w) 橋脚1，ダンパー支柱

INDEX NO. 55
-- ﾀｲｲｶﾝ -- A-13
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 90
MAX.=-52.7(GAL)

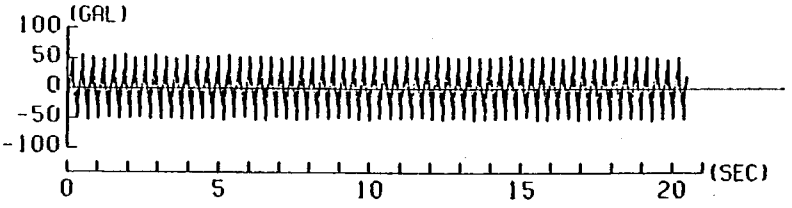
E.O. NO. 851224



(x) 橋脚2，ダンパー支柱

INDEX NO. 56
-- ﾀｲｲｶﾝ -- A-14
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 90
MAX.=56.2(GAL)

E.O. NO. 851224

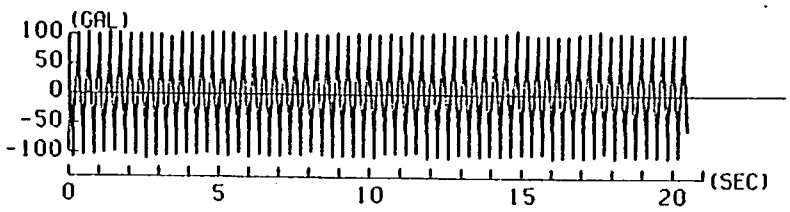


(y) 橋脚3，ダンパー支柱

付図 3.2(4) 正弦波位相差入力振動実験（振動数：3 Hz, 位相差：$\pi/2$）

INDEX NO. 57
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 1
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 180
MAX.=-110.8(GAL)

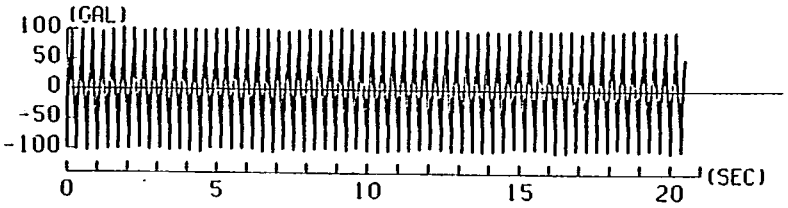
E.O. NO. 851224



(a) 橋脚1，入力

INDEX NO. 58
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 2
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 180
MAX.=-107.1(GAL)

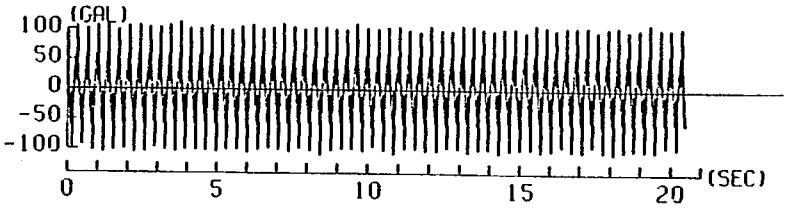
E.O. NO. 851224



(b) 橋脚2，入力

INDEX NO. 59
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 3
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 180
MAX.=112.7(GAL)

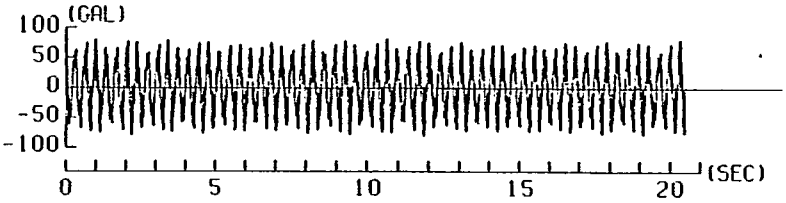
E.O. NO. 851224



(c) 橋脚3，入力

INDEX NO. 60
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 4
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 180
MAX.=82.0(GAL)

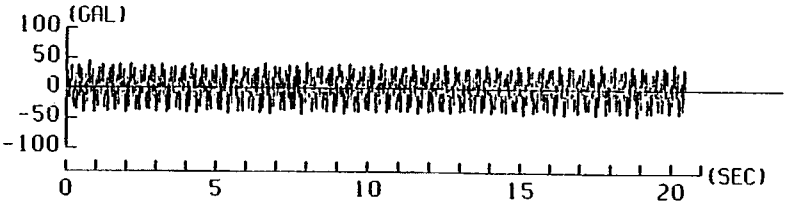
E.O. NO. 851224



(d) 橋脚1，フーチング

INDEX NO. 61
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 5
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 180
MAX.=44.4(GAL)

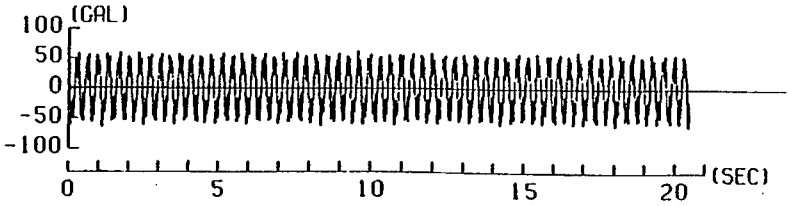
E.O. NO. 851224



(e) 橋脚2，フーチング

INDEX NO. 62
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 6
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 180
MAX.=-64.4(GAL)

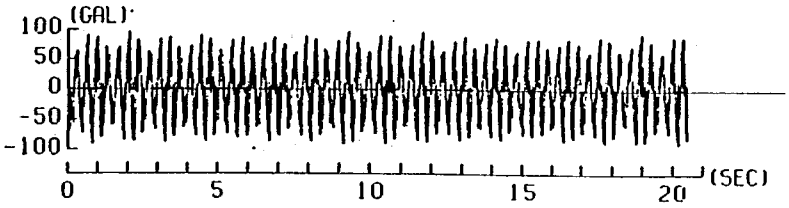
E.O. NO. 851224



(f) 橋脚3，フーチング

INDEX NO. 63
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 7
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 180
MAX.=95.4(GAL)

E.O. NO. 851224

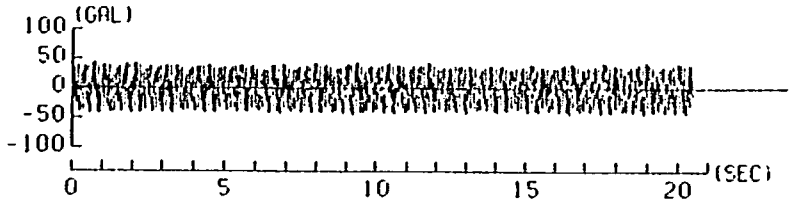


(g) 橋脚1，天端

付図3.3(1) 正弦波位相差入力振動実験（振動数：3Hz，位相差：π）

INDEX NO. 64
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 8
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 180
MAX.=-44.4(GAL)

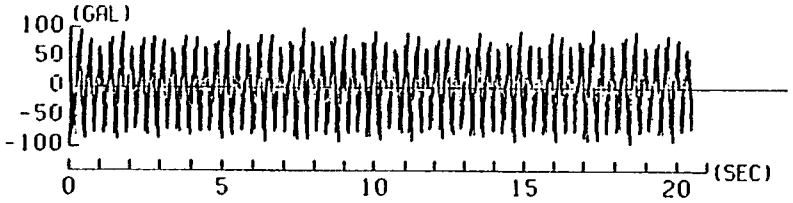
E.O. NO. 851224



(h) 橋脚2，天端

INDEX NO. 65
-- ﾀｲｶﾝ -- A- 9
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 160
MAX.=100.8(GAL)

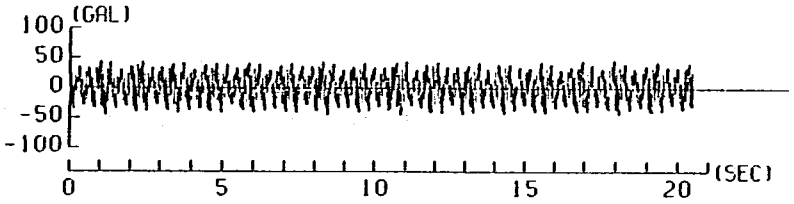
E.O. NO. 851224



(i) 橋脚3，天端

INDEX NO. 66
-- ﾀｲｶﾝ -- A-10
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 180
MAX.=46.5(GAL)

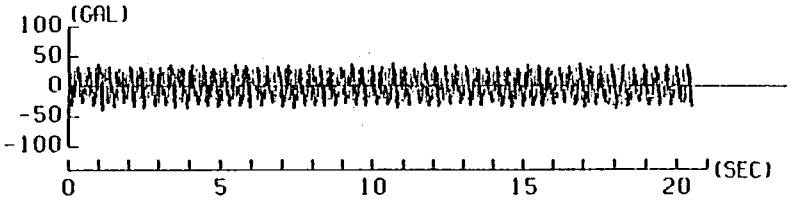
E.O. NO. 851224



(j) 上部工，橋脚1および2の中央

INDEX NO. 67
-- ﾀｲｶﾝ -- A-11
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 180
MAX.=-40.5(GAL)

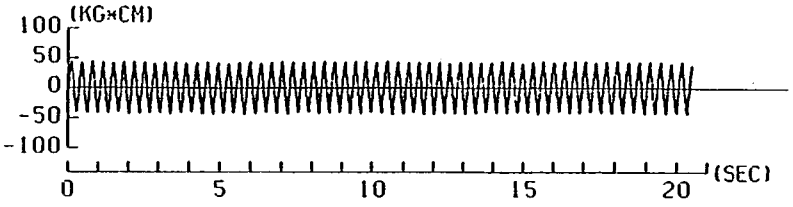
E.O. NO. 851224



(k) 上部工，橋脚2および3の中央

INDEX NO. 68
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 1
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 180
MAX.=44.2(KG×CM)

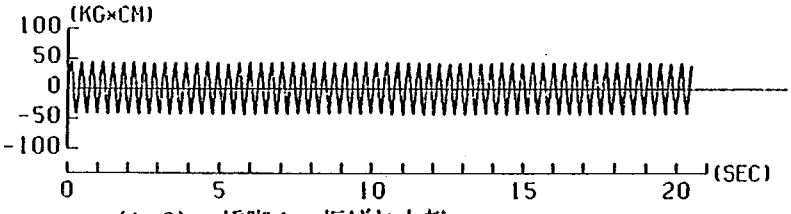
E.O. NO. 851224



(1-1) 橋脚1，板ばね上部

INDEX NO. 69
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 2
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 180
MAX.=44.6(KG×CM)

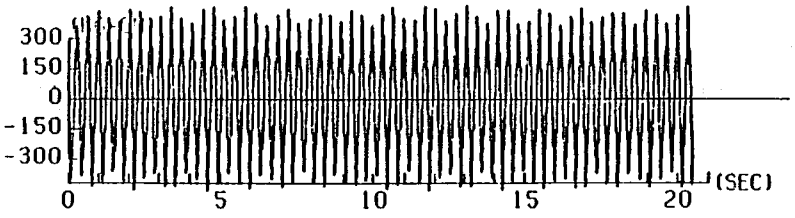
E.O. NO. 851224



(1-2) 橋脚1，板ばね上部

INDEX NO. 70
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 3
ﾚﾝｼﾞｸ 3HZ 180
MAX.=469.6(KG×CM)

E.O. NO. 851224

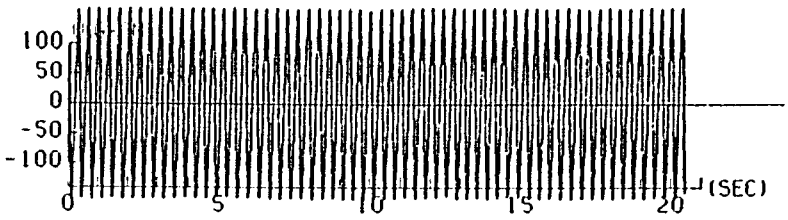


(m) 橋脚1，橋脚基部

付図3.3(2) 正弦波位相差入力振動実験（振動数：3Hz，位相差：π）

INDEX NO. 71
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 4
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 180
MAX.=162.1(KG*CM)

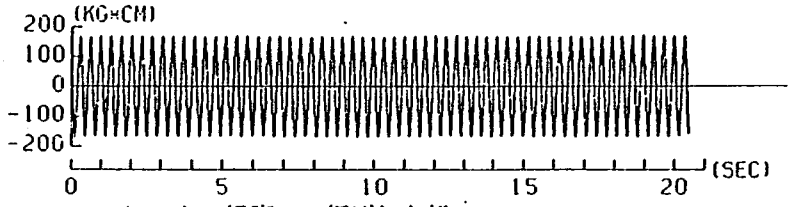
E.O. NO. 851224



(n-1) 橋脚2，板ばね上部

INDEX NO. 72
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 5
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 180
MAX.=171.0(KG*CM)

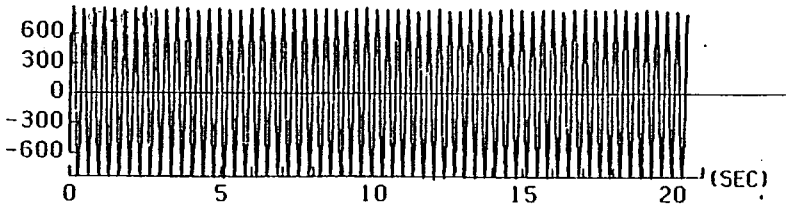
E.O. NO. 851224



(n-2) 橋脚2，板ばね上部

INDEX NO. 73
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 6
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 180
MAX.=-871.2(KG*CM)

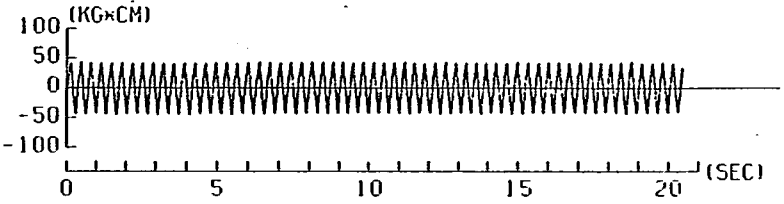
E.O. NO. 851224



(o) 橋脚2，橋脚基部

INDEX NO. 74
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 7
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 180
MAX.=-45.2(KG*CM)

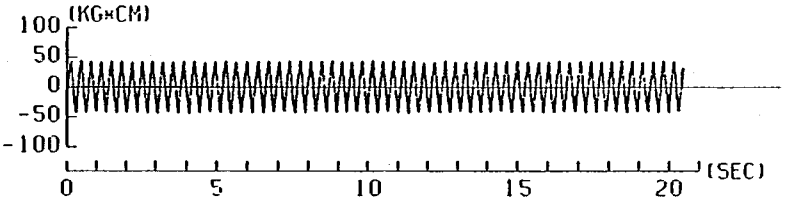
E.O. NO. 851224



(p-1) 橋脚3，板ばね上部

INDEX NO. 75
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 8
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 180
MAX.=-44.2(KG*CM)

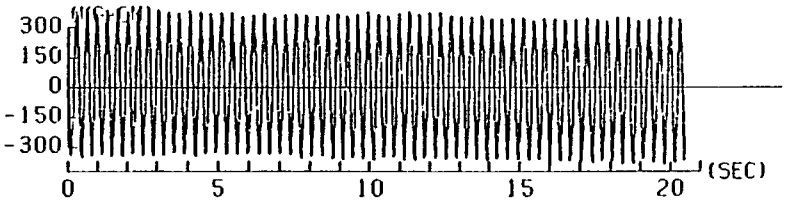
E.O. NO. 851224



(p-2) 橋脚3，板ばね上部

INDEX NO. 76
-- ﾀｲｶﾝ -- S- 9
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 180
MAX.=393.7(KG*CM)

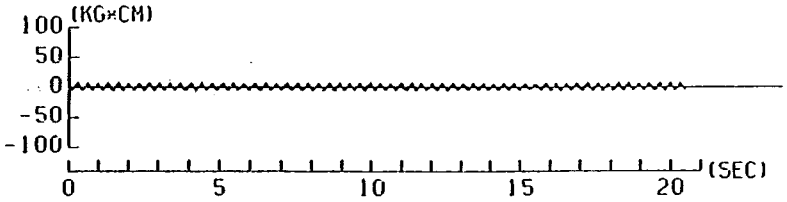
E.O. NO. 851224



(q) 橋脚3，橋脚基部

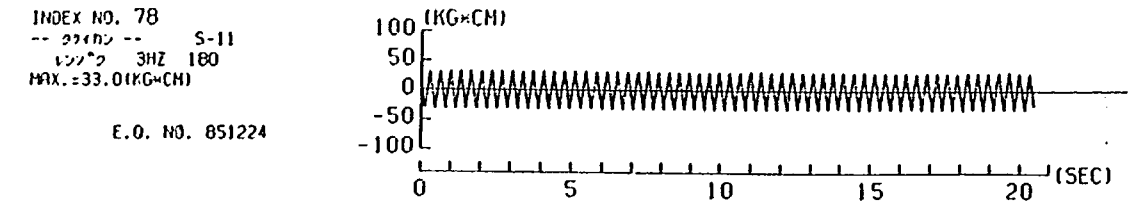
INDEX NO. 77
-- ﾀｲｶﾝ -- S-10
ﾚﾝｿﾞｸ 3HZ 180
MAX.=6.4(KG*CM)

E.O. NO. 851224

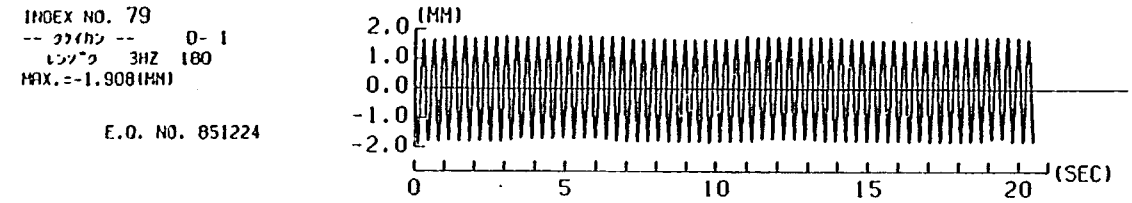


(r) 橋脚3，板ばね中央部

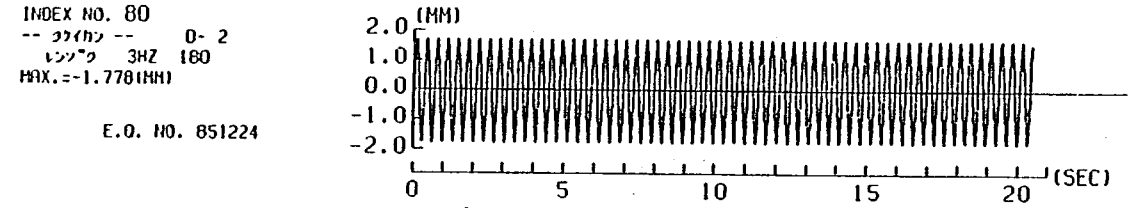
付図 3.3(3) 正弦波位相差入力振動実験（振動数：3 Hz，位相差：π）



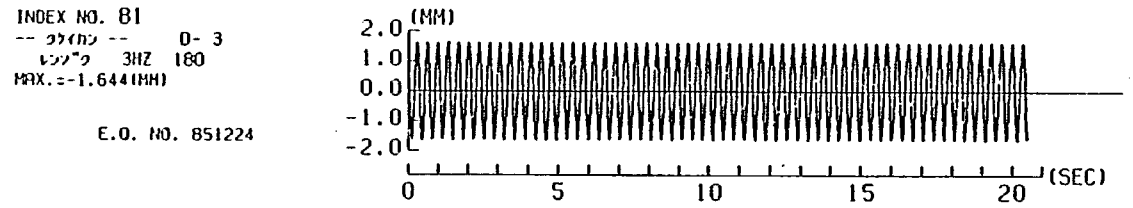
(s) 橋脚3，板ばね基部



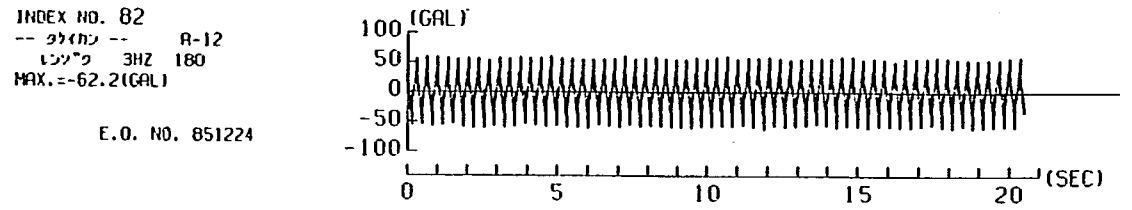
(t) 振動台 1



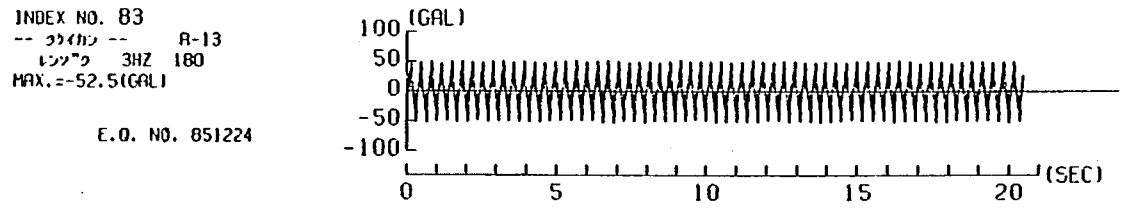
(u) 振動台 2



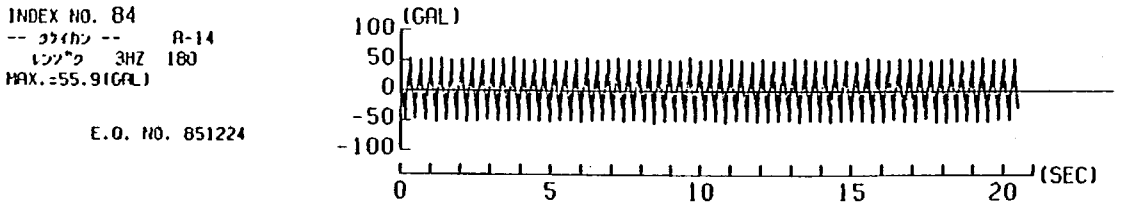
(v) 振動台 3



(w) 橋脚1，ダンパー支柱

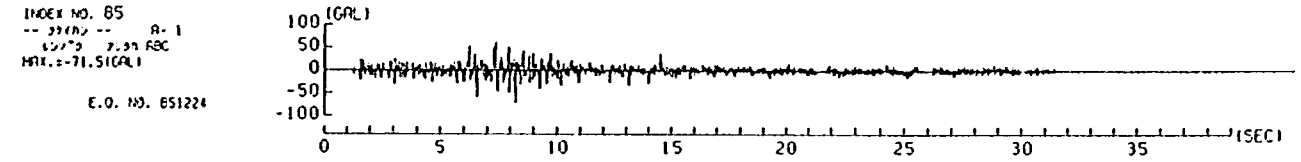


(x) 橋脚2，ダンパー支柱

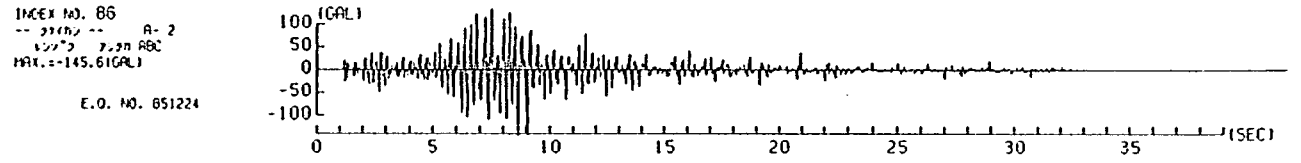


(y) 橋脚3，ダンパー支柱

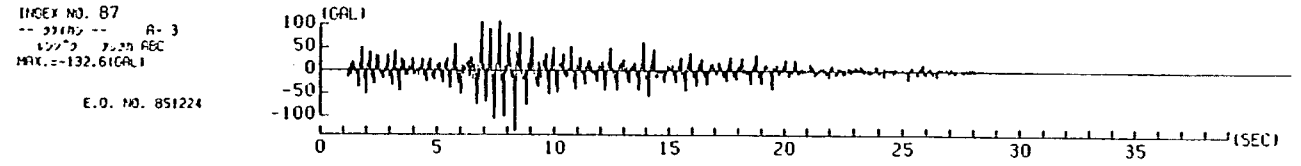
付図 3.3(4) 正弦波位相差入力振動実験（振動数：3 Hz, 位相差：π）



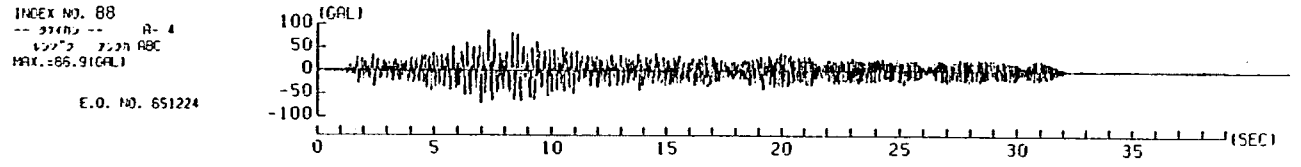
(a) 橋脚1，入力



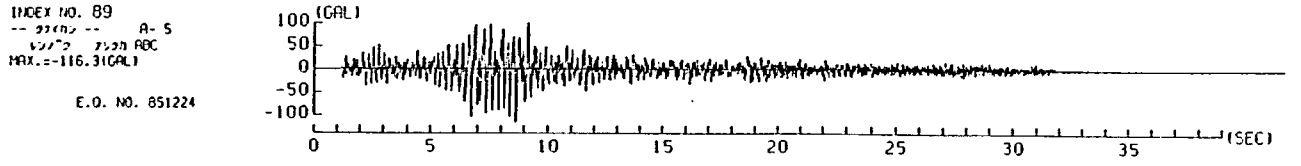
(b) 橋脚2，入力



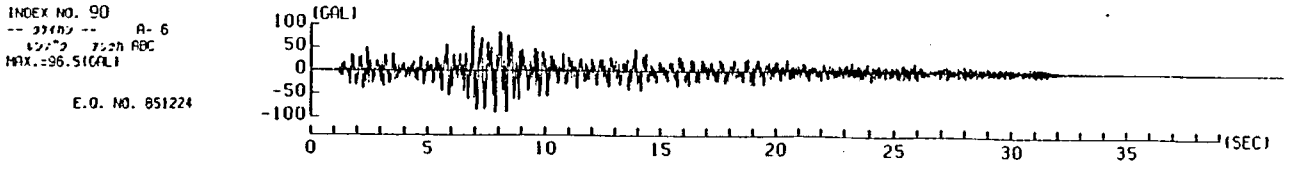
(c) 橋脚3，入力



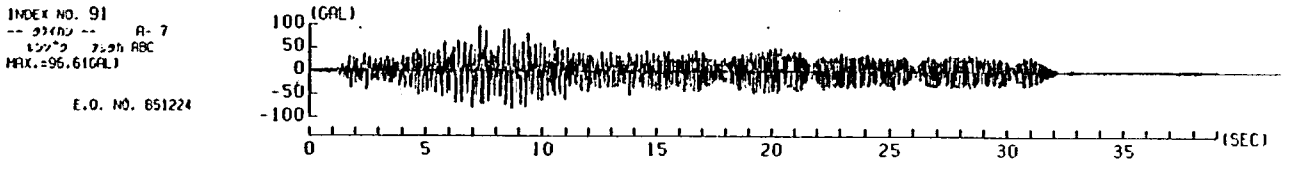
(d) 橋脚1，フーチング



(e) 橋脚2，フーチング

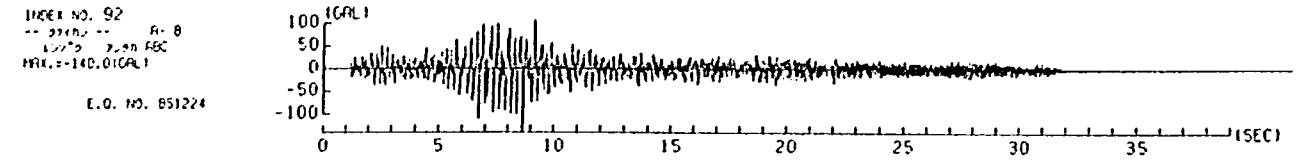


(f) 橋脚3，フーチング

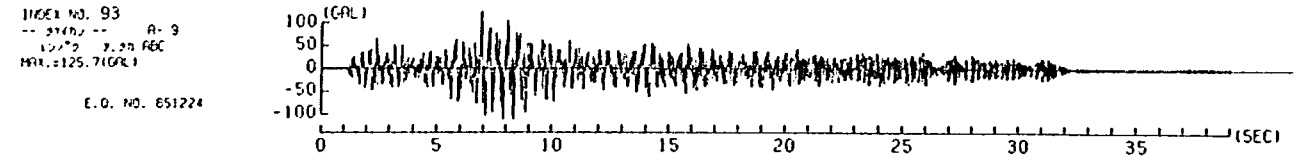


(g) 橋脚1，天端

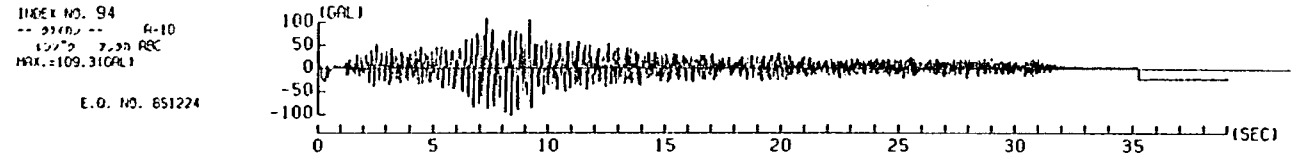
付図 3.4(1) 地震波多点入力振動実験（愛鷹記録）



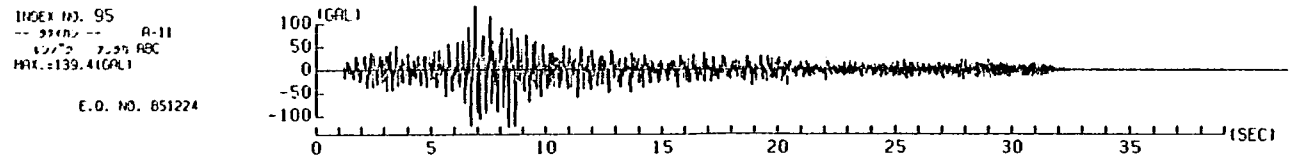
(h) 橋脚2，天端



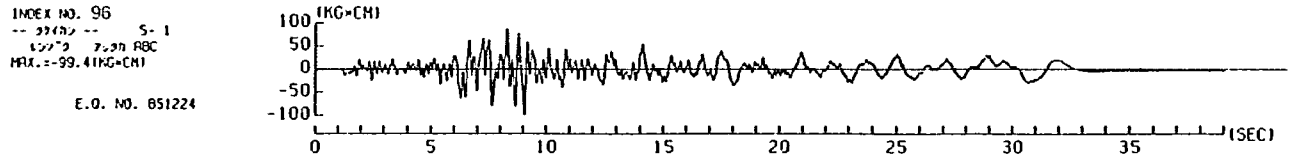
(i) 橋脚3，天端



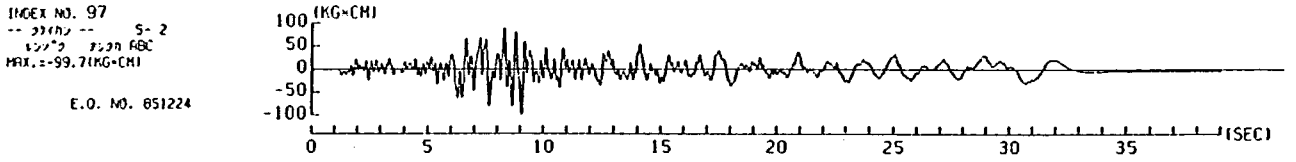
(j) 上部工，橋脚1および2の中央



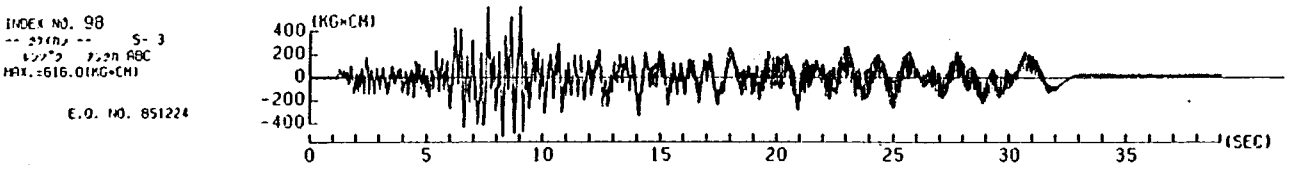
(k) 上部工，橋脚2および3の中央



(1-1) 橋脚1，板ばね上部

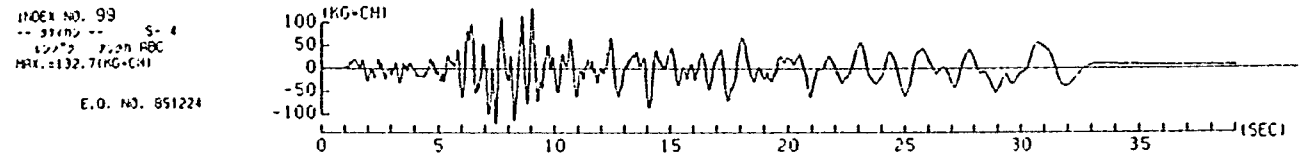


(1-2) 橋脚1，板ばね上部

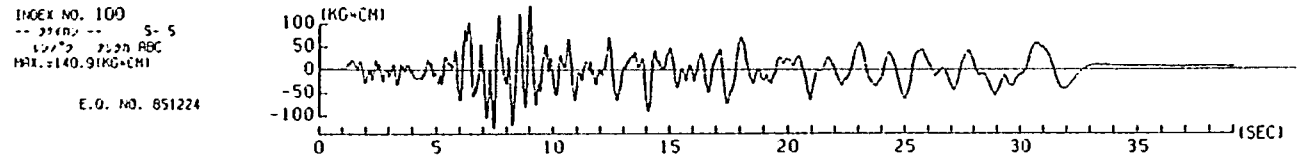


(m) 橋脚1，橋脚基部

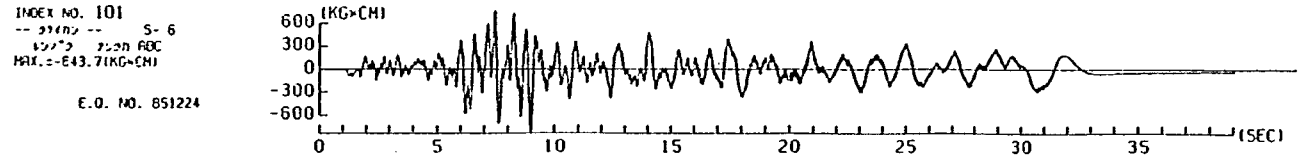
付図 3.4(2) 地震波多点入力振動実験（愛鷹記録）



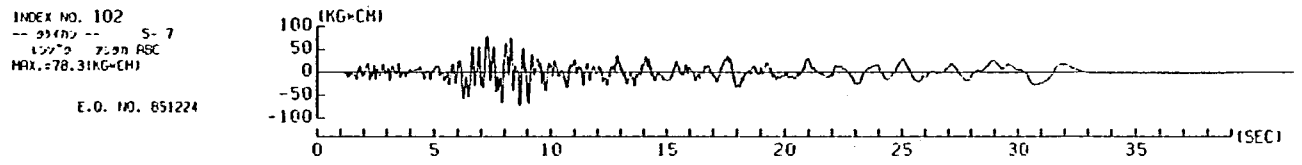
(n-1)　橋脚2，板ばね上部



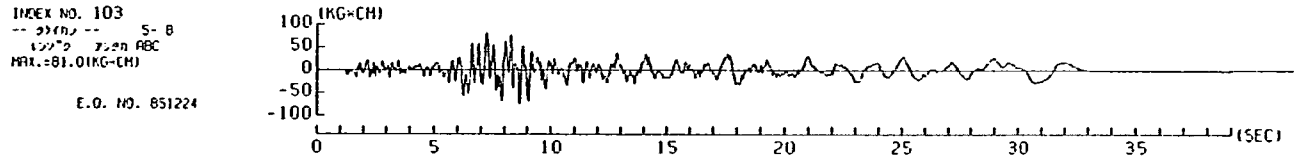
(n-2)　橋脚2，板ばね上部



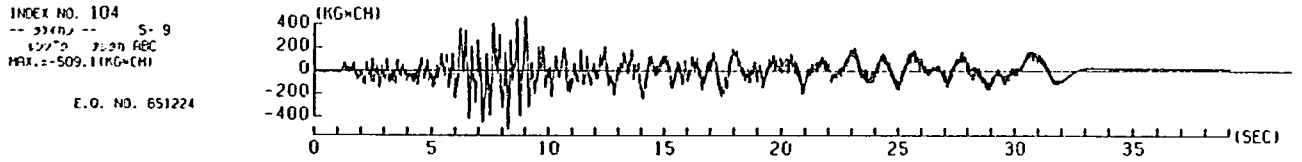
(o)　橋脚2，橋脚基部



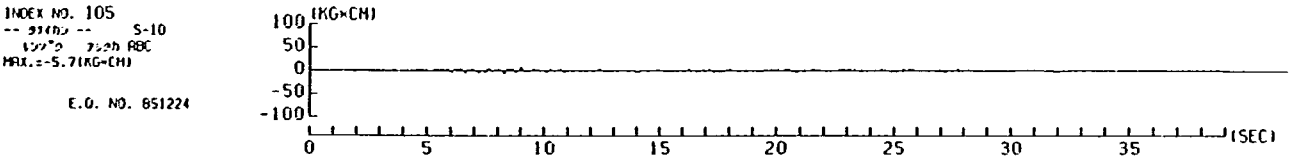
(p-1)　橋脚3，板ばね上部



(p-2)　橋脚3，板ばね上部

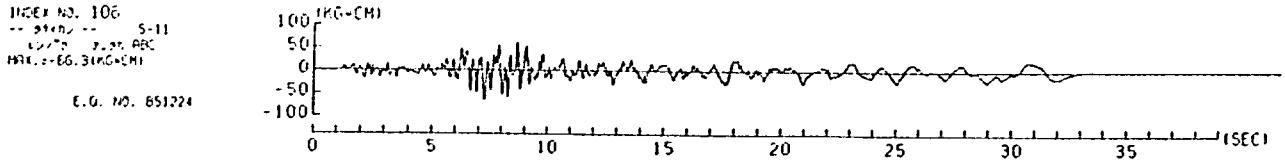


(q)　橋脚3，橋脚基部

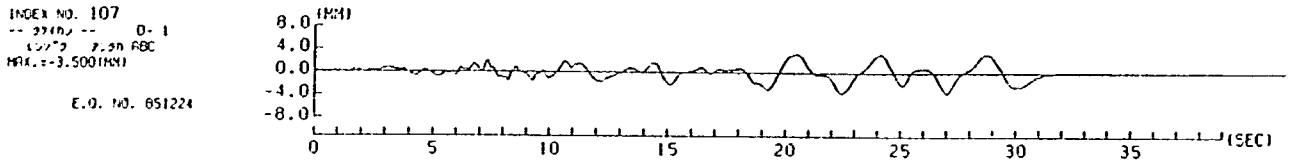


(r)　橋脚3，板ばね中央部

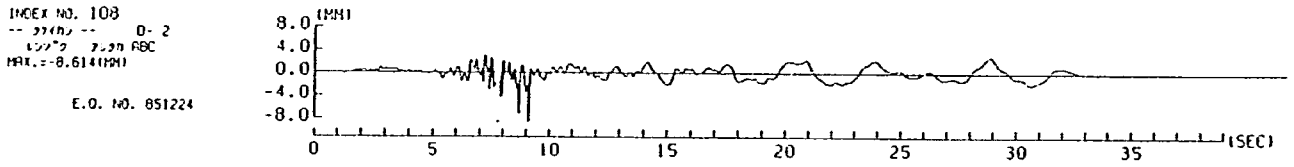
付図 3.4(3)　地震波多点入力振動実験（愛鷹記録）



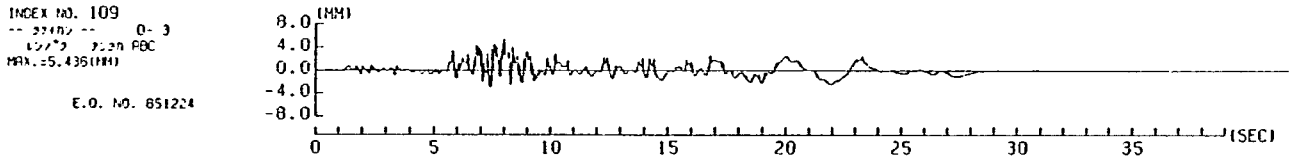
(s) 橋脚3，板ばね基部



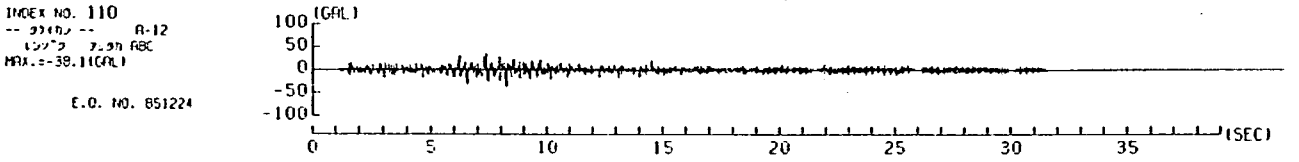
(t) 振動台 1



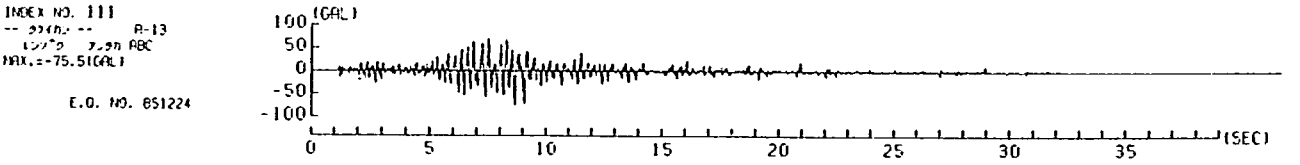
(u) 振動台 2



(v) 振動台 3



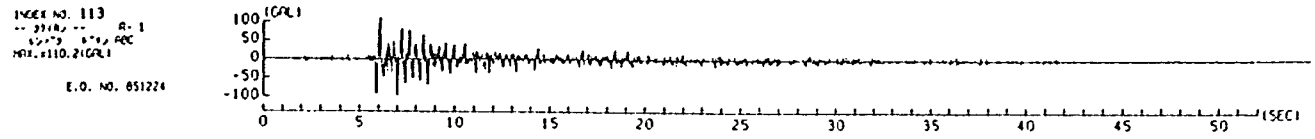
(w) 橋脚1，ダンパー支柱



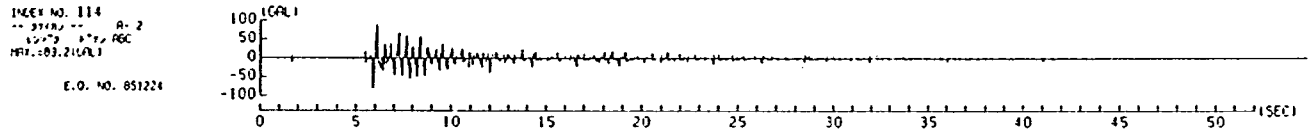
(x) 橋脚2，ダンパー支柱

(y) 橋脚3，ダンパー支柱

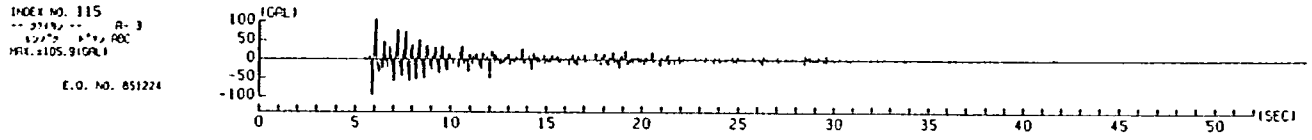
付図 3.4(4) 地震波多点入力振動実験（愛鷹記録）



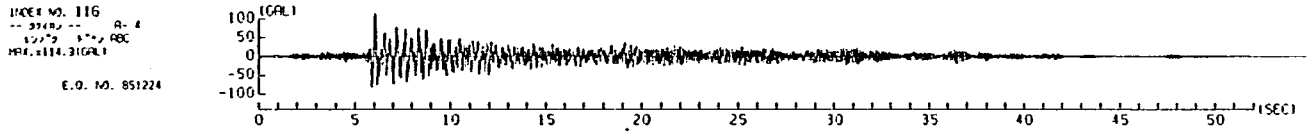
(a) 橋脚1，入力



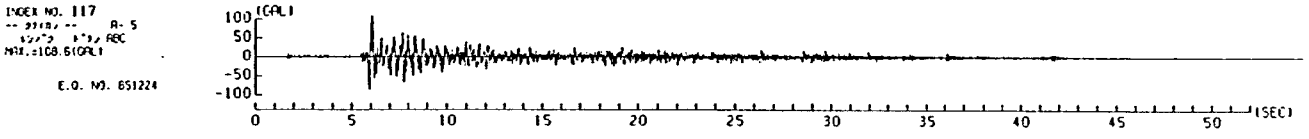
(b) 橋脚2，入力



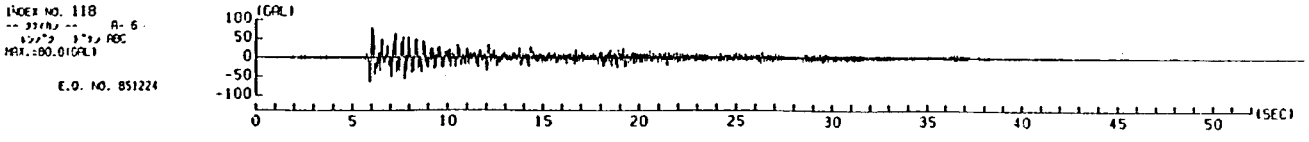
(c) 橋脚3，入力



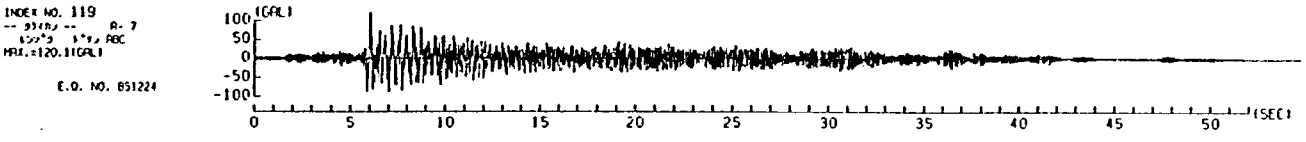
(d) 橋脚1，フーチング



(e) 橋脚2，フーチング

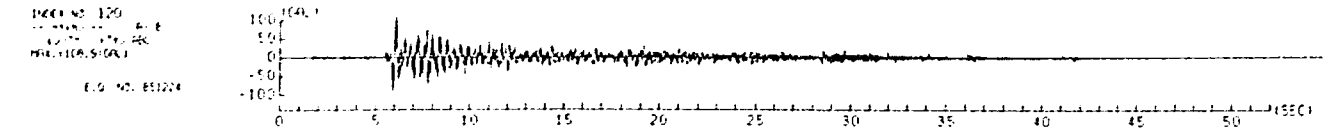


(f) 橋脚3，フーチング

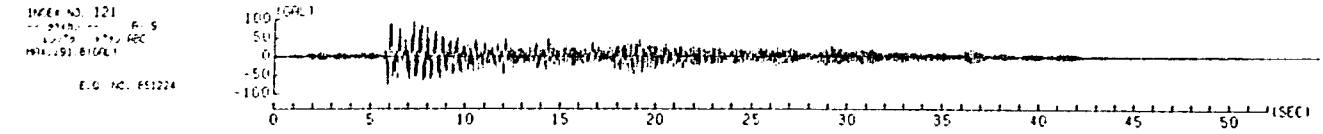


(g) 橋脚1，天端

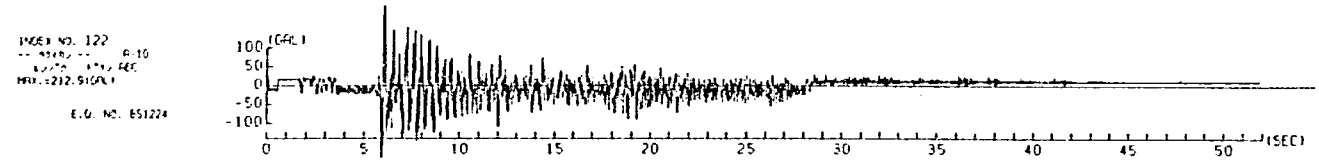
付図 3.5(1) 地震波多点入力振動実験（土研記録）



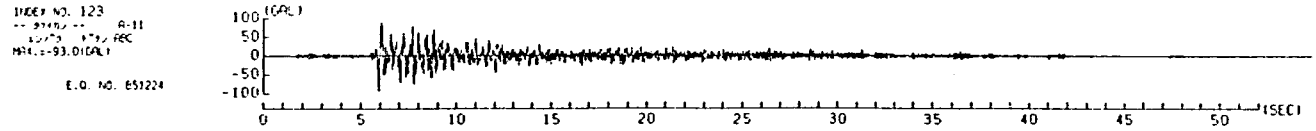
(h) 橋脚2，天端



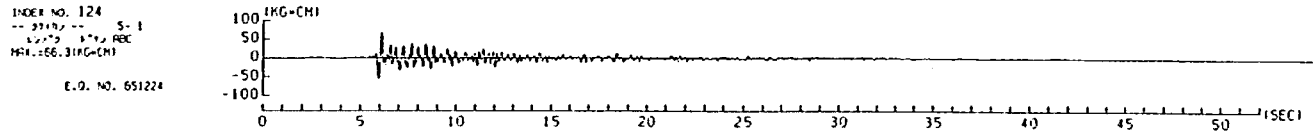
(i) 橋脚3，天端



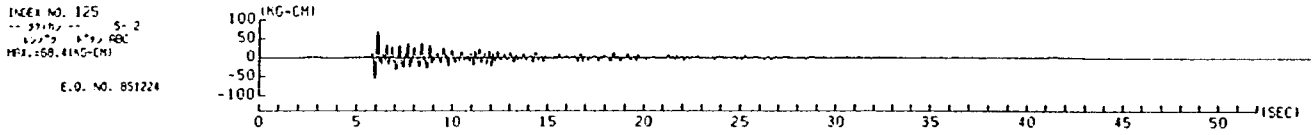
(j) 上部工，橋脚1および2の中央



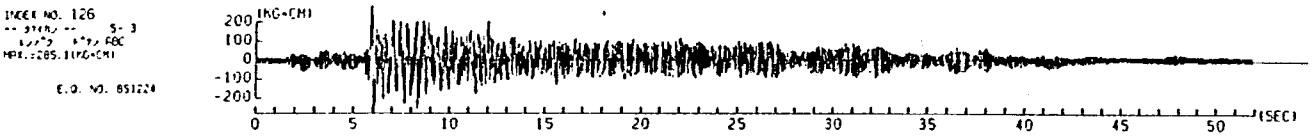
(k) 上部工，橋脚2および3の中央



(1-1) 橋脚1，板ばね上部

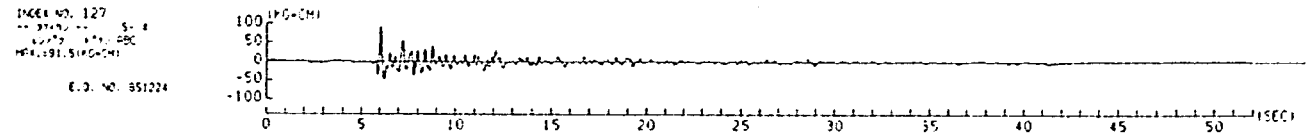


(1-2) 橋脚1，板ばね上部

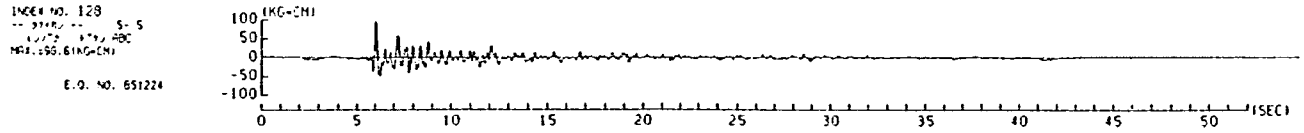


(m) 橋脚1，橋脚基部

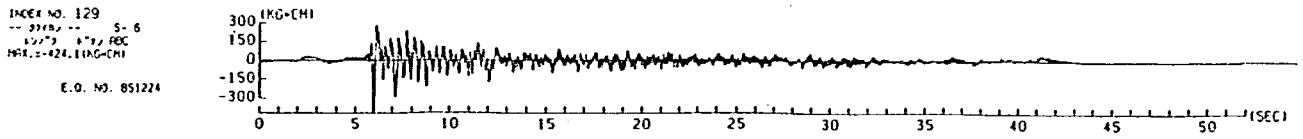
付図 3.5(2) 地震波多点入力振動実験（土研記録）



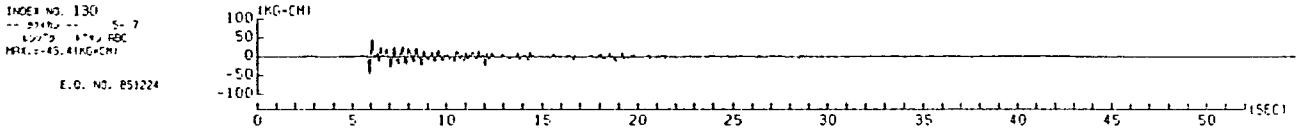
(n-1)　橋脚2，板ばね上部



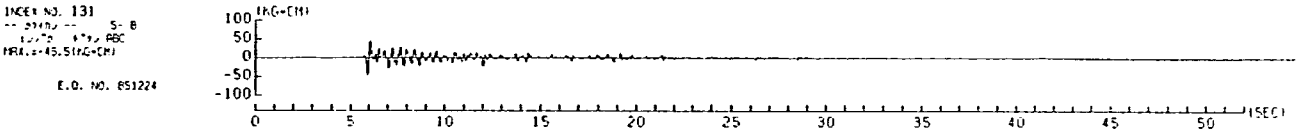
(n-2)　橋脚2，板ばね上部



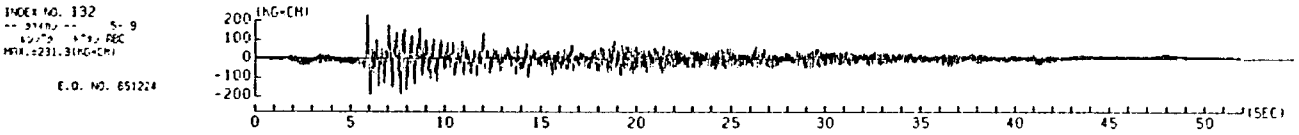
(o)　橋脚2，橋脚基部



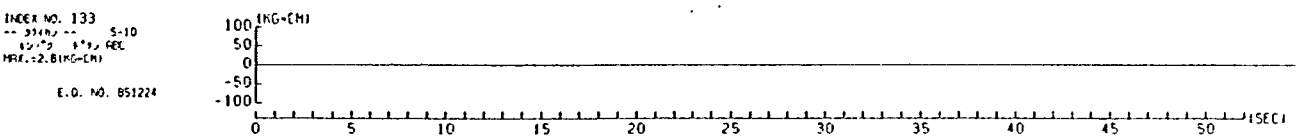
(p-1)　橋脚3，板ばね上部



(p-2)　橋脚3，板ばね上部

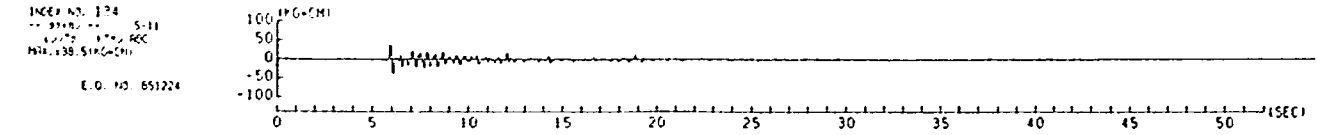


(q)　橋脚3，橋脚基部

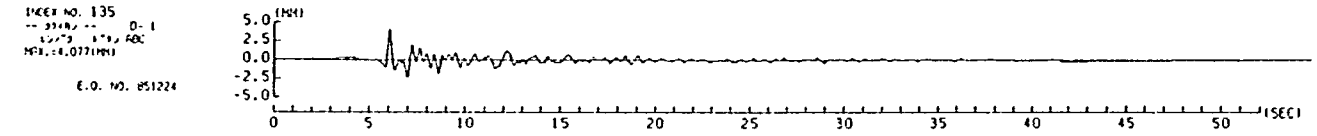


(r)　橋脚3，板ばね中央部

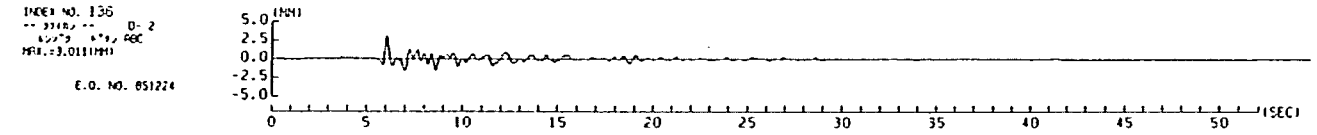
付図 3.5(3)　地震波多点入力振動実験（土研記録）



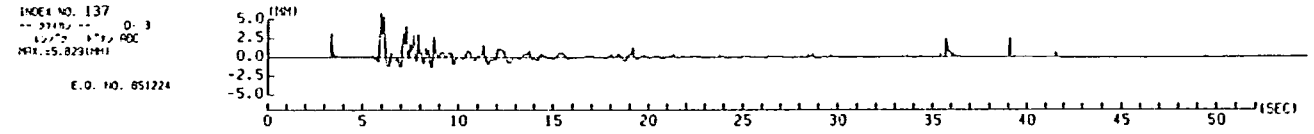
(s) 橋脚3，板ばね基部



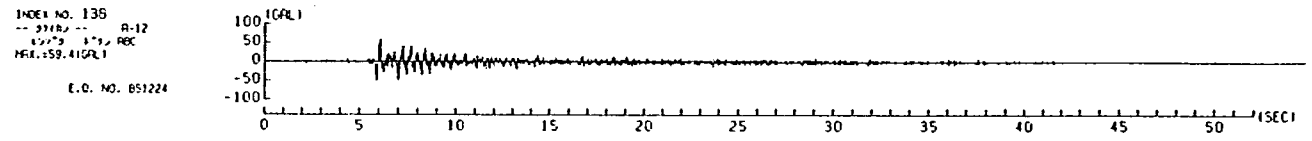
(t) 振動台 1



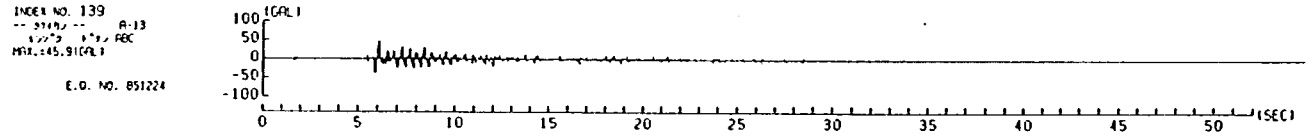
(u) 振動台 2



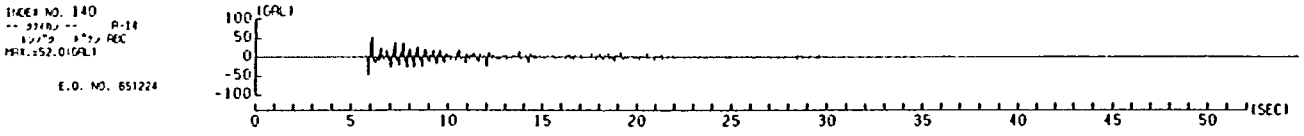
(v) 振動台 3



(w) 橋脚1，ダンパー支柱

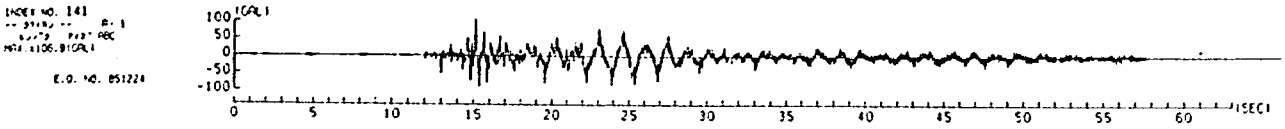


(x) 橋脚2，ダンパー支柱

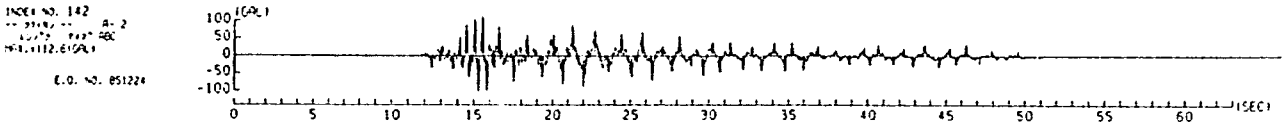


(y) 橋脚3，ダンパー支柱

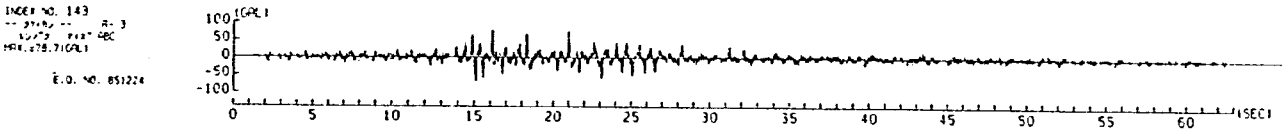
付図 3.5(4) 地震波多点入力振動実験（土研記録）



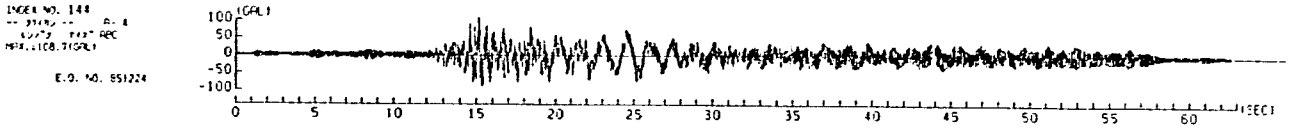
(a) 橋脚1，入力



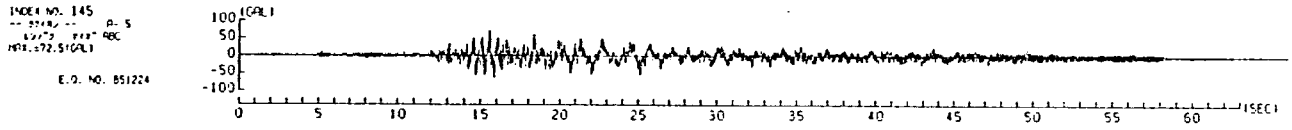
(b) 橋脚2，入力



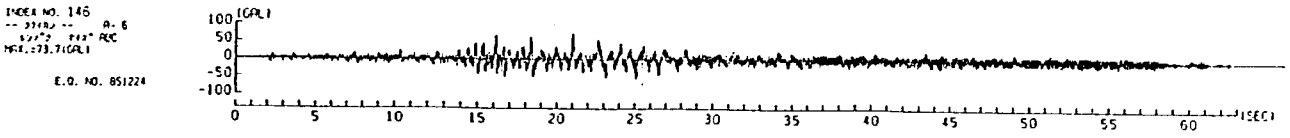
(c) 橋脚3，入力



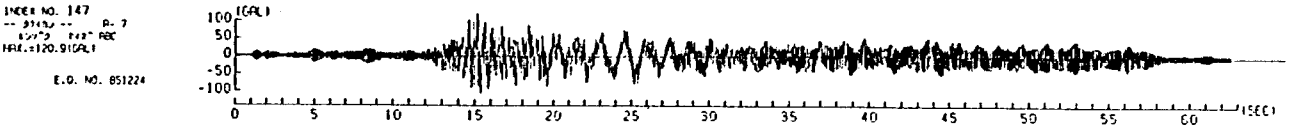
(d) 橋脚1，フーチング



(e) 橋脚2，フーチング

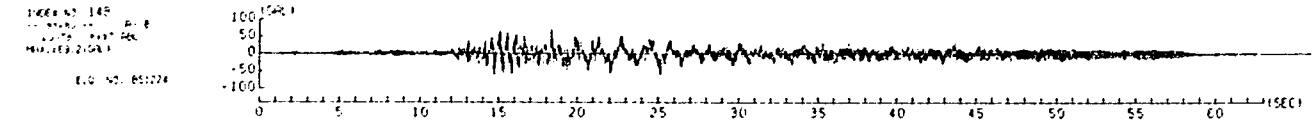


(f) 橋脚3，フーチング

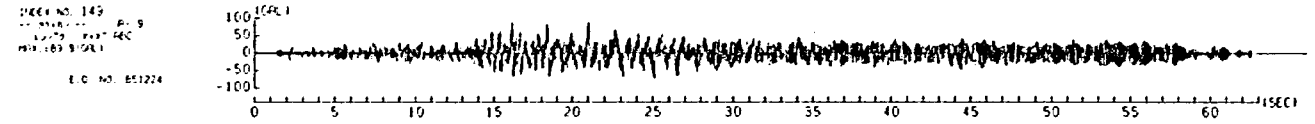


(g) 橋脚1，天端

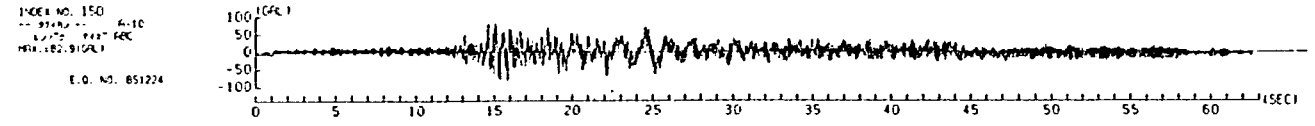
付図 3.6(1) 地震波多点入力振動実験（焼津記録）



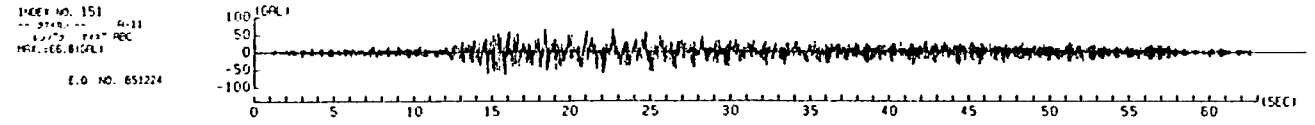
(h) 橋脚２，天端



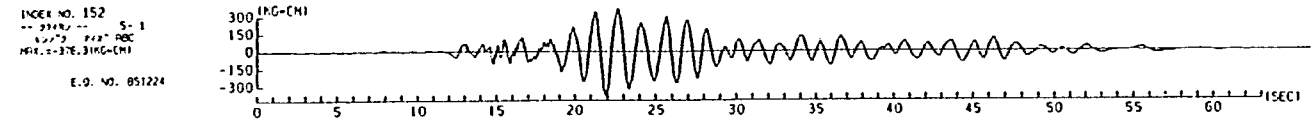
(i) 橋脚３，天端



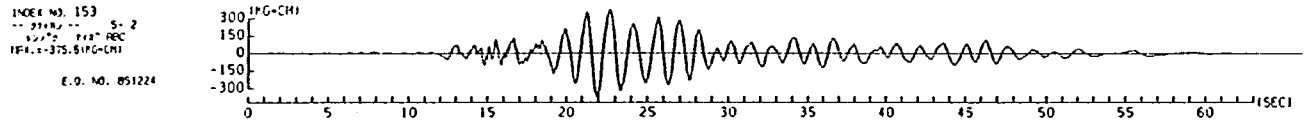
(j) 上部工，橋脚１および２の中央



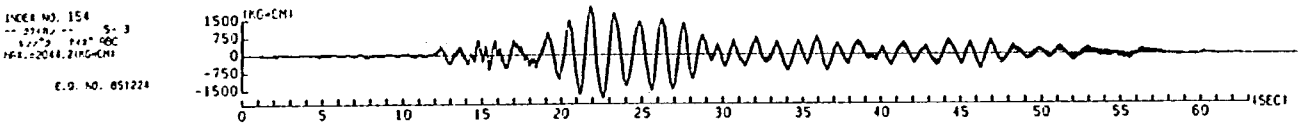
(k) 上部工，橋脚２および３の中央



(l-1) 橋脚１，板ばね上部

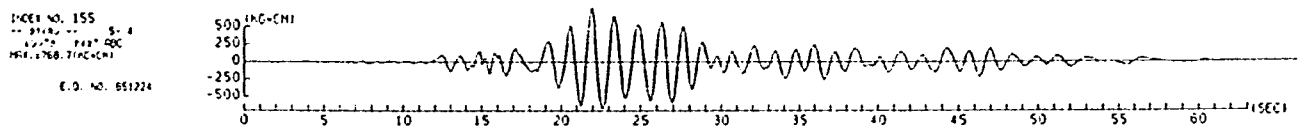


(l-2) 橋脚１，板ばね上部

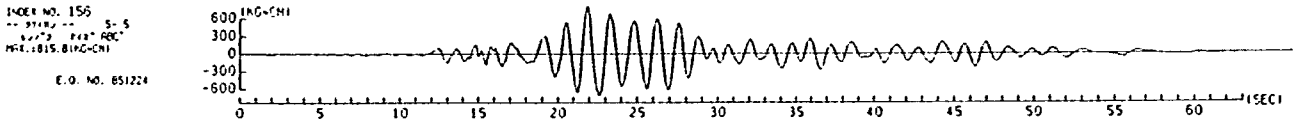


(m) 橋脚１，橋脚基部

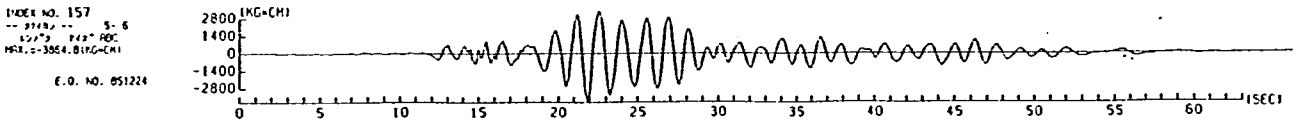
付図 3.6(2) 地震波多点入力振動実験（焼津記録）



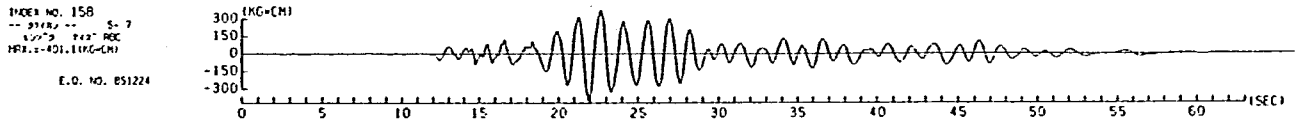
(n-1)　橋脚2，板ばね上部



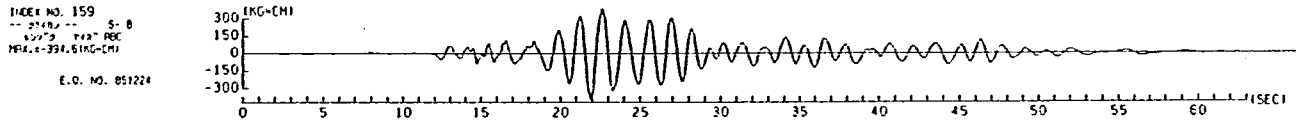
(n-2)　橋脚2，板ばね上部



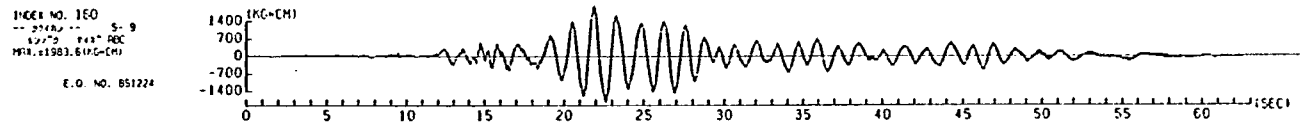
(o)　橋脚2，橋脚基部



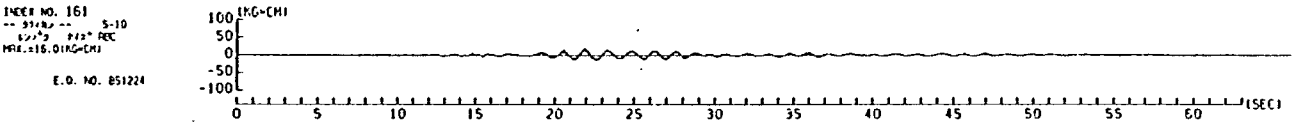
(p-1)　橋脚3，板ばね上部



(p-2)　橋脚3，板ばね上部

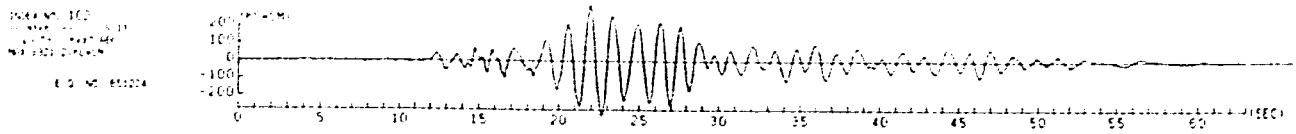


(q)　橋脚3，橋脚基部

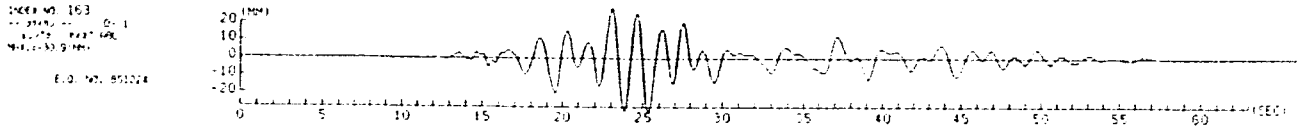


(r)　橋脚3，板ばね中央部

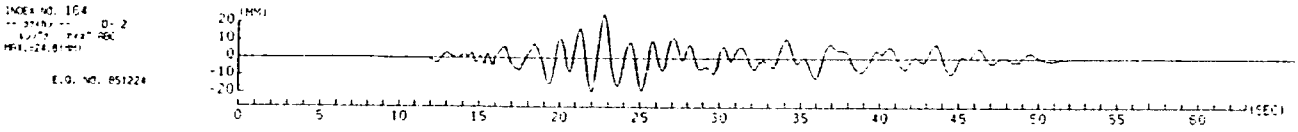
付図 3.6(3)　地震波多点入力振動実験（焼津記録）



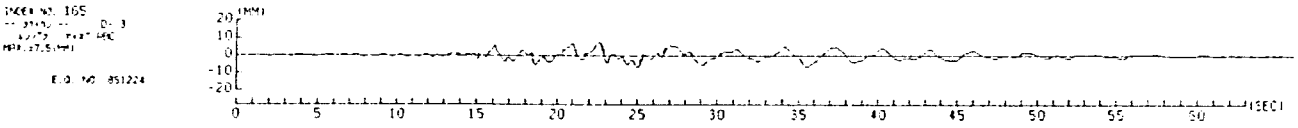
(s) 橋脚3，板ばね基部



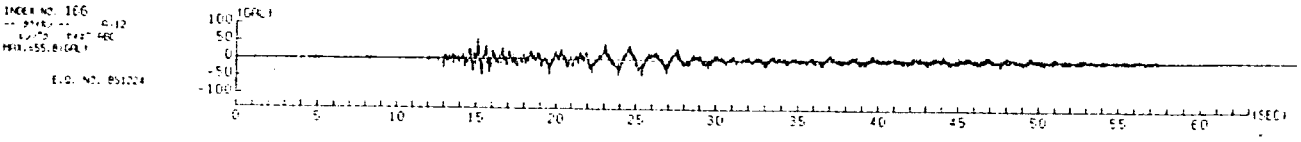
(t) 振動台 1



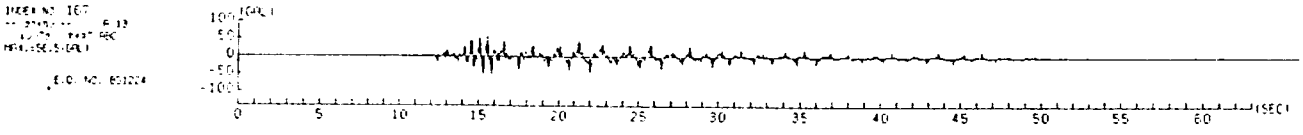
(u) 振動台 2



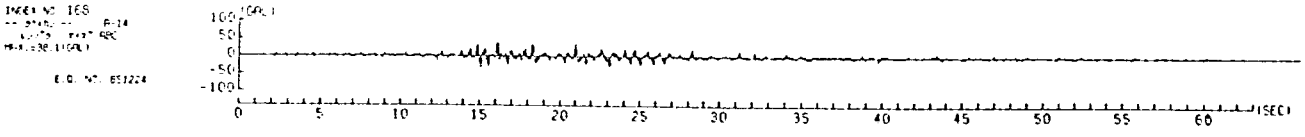
(v) 振動台 3



(w) 橋脚1，ダンパー支柱



(x) 橋脚2，ダンパー支柱

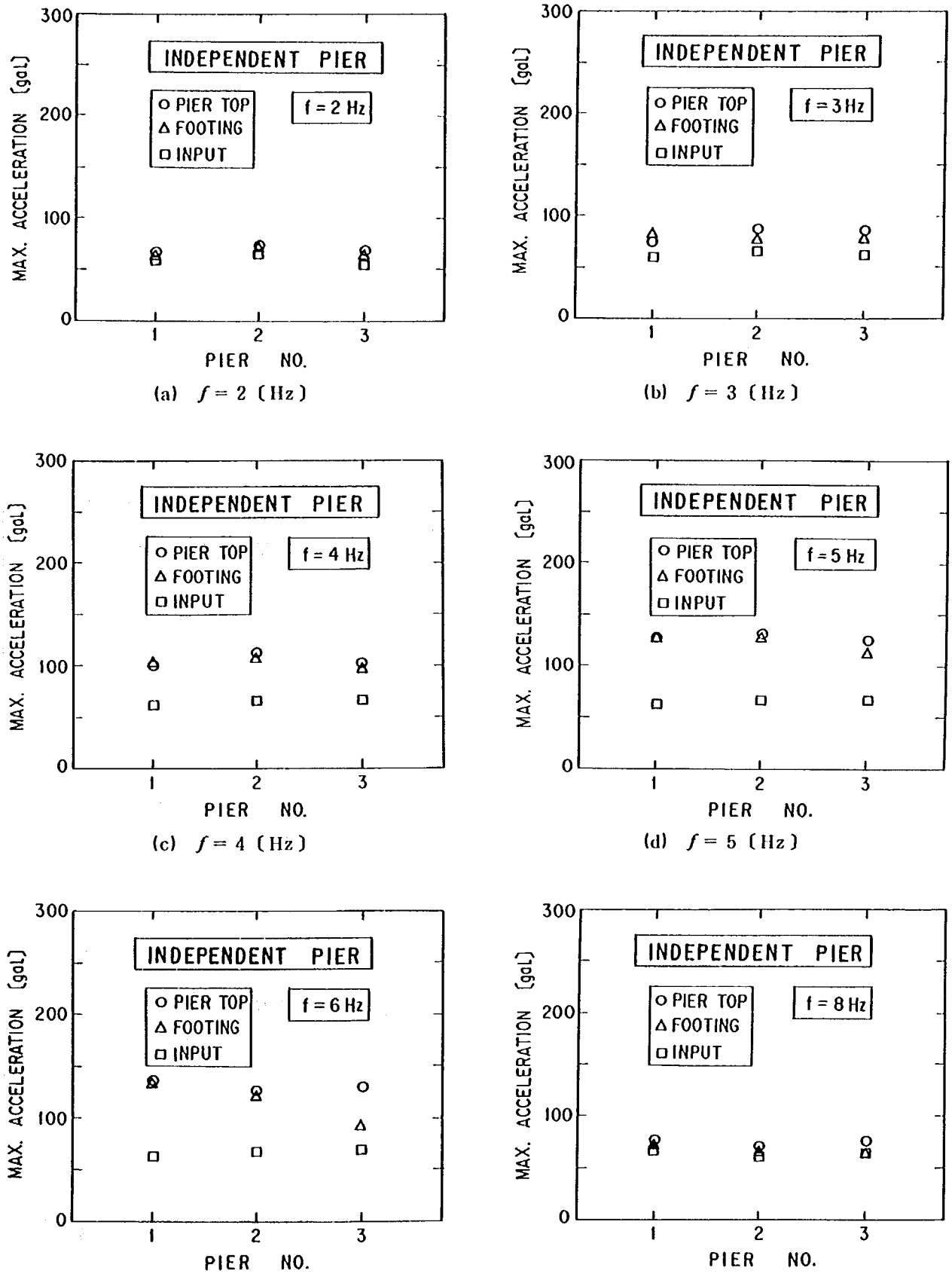


(y) 橋脚3，ダンパー支柱

付図 3.6(4) 地震波多点入力振動実験（焼津記録）

付　属　資　料　4

最大応答値の一覧

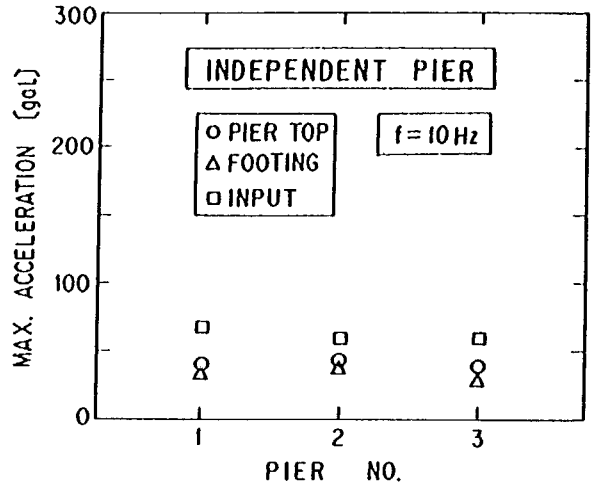


(a) $f = 2$ (Hz)　(b) $f = 3$ (Hz)

(c) $f = 4$ (Hz)　(d) $f = 5$ (Hz)

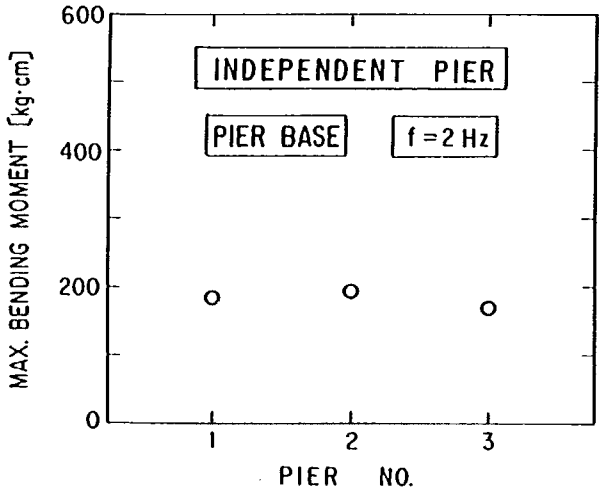
(e) $f = 6$ (Hz)　(f) $f = 8$ (Hz)

付図 4.1(1)　橋脚単体の最大加速度（正弦波入力振動実験）

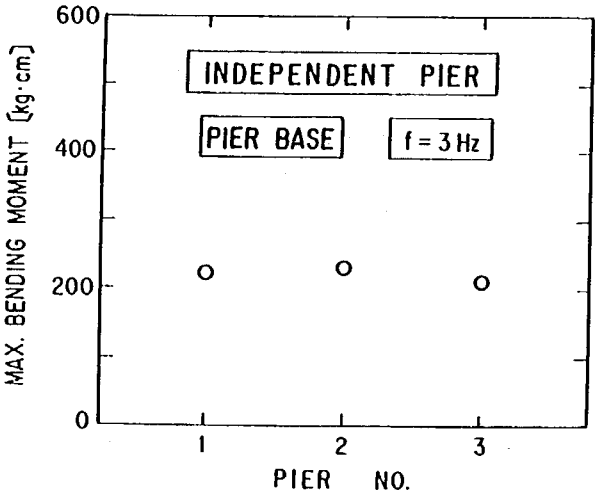


(g) $f = 10$ (Hz)

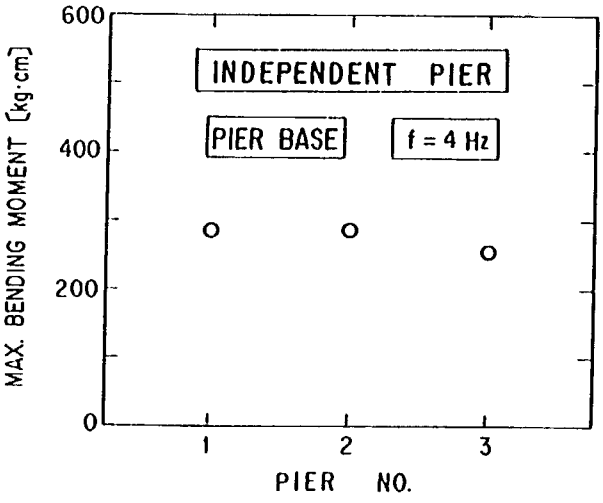
付図 4. 1 (2)　橋脚単体の最大加速度（正弦波入力振動実験）



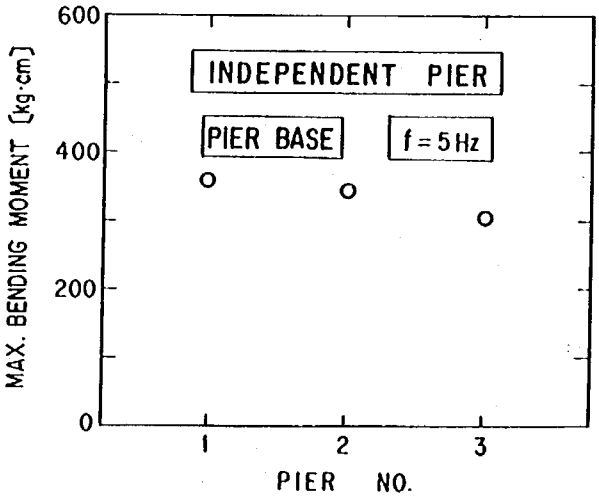
(a) $f = 2$ (Hz)



(b) $f = 3$ (Hz)

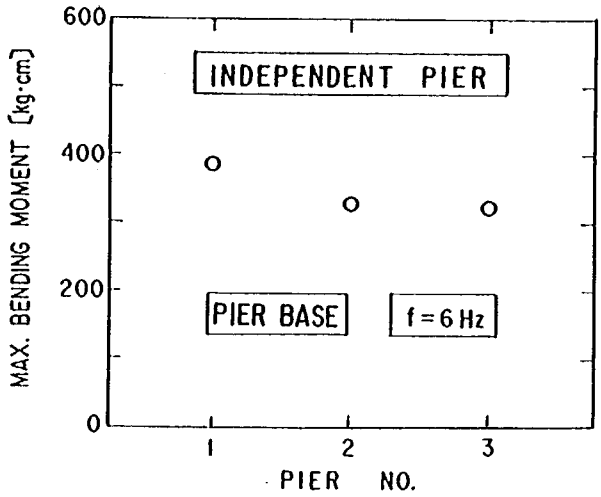


(c) $f = 4$ (Hz)

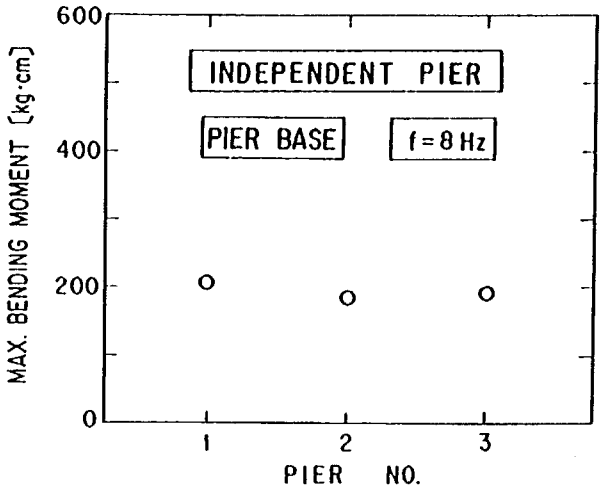


(d) $f = 5$ (Hz)

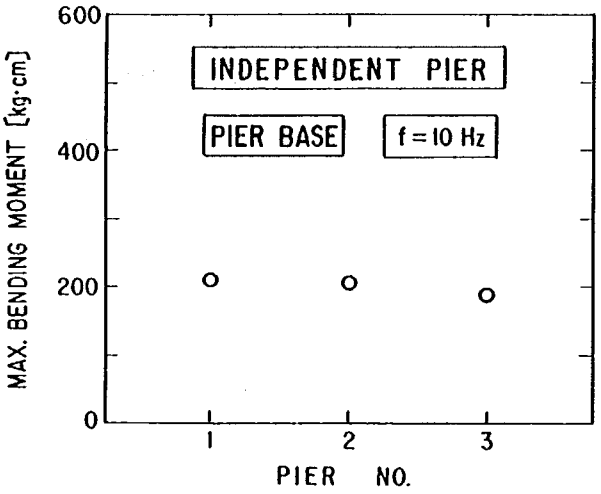
付図 4. 2(1)　橋脚単体（橋脚基部）の最大曲げモーメント（正弦波入力振動実験）



(e) $f = 6$ [Hz]

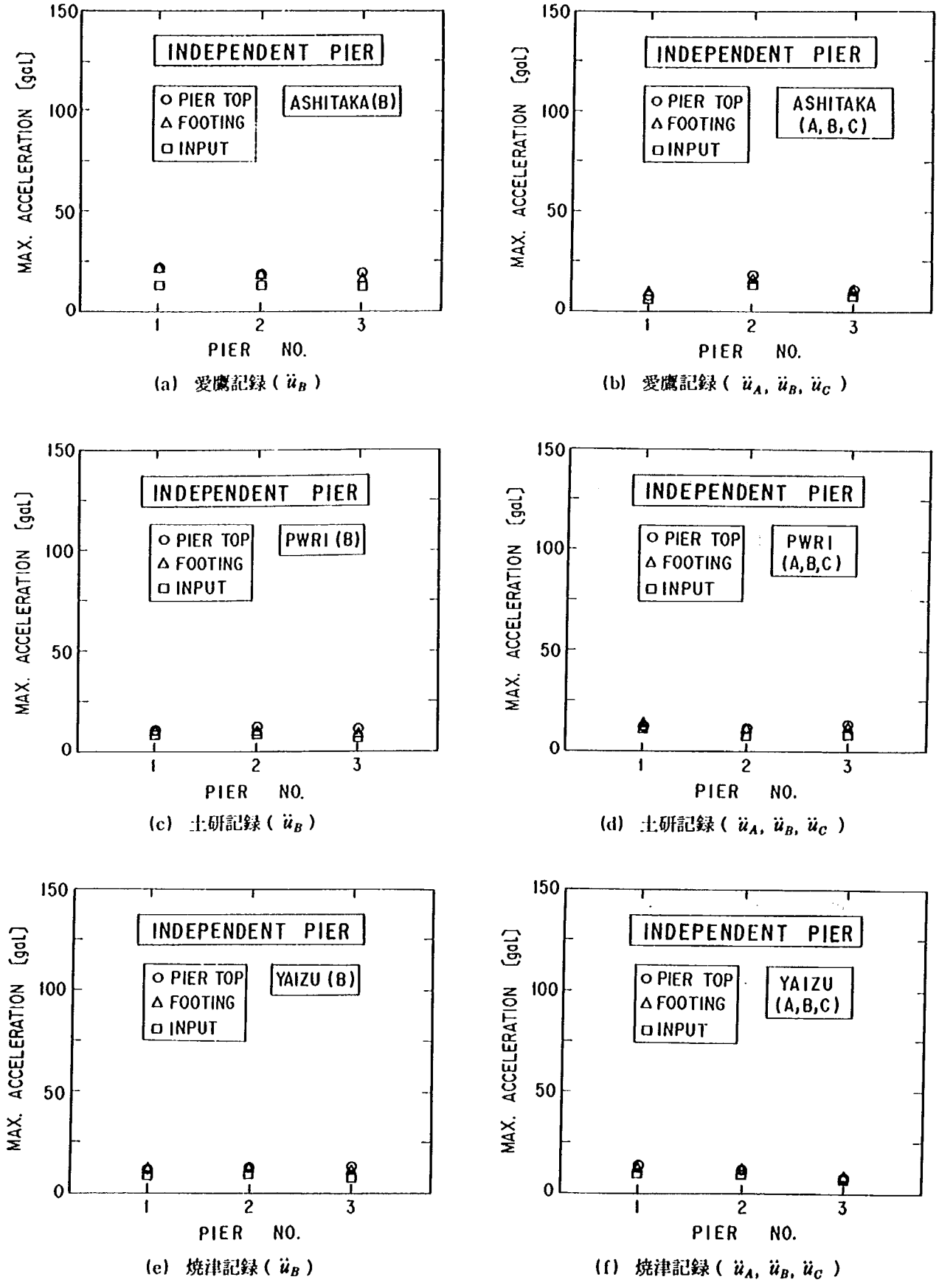


(f) $f = 8$ [Hz]



(g) $f = 10$ [Hz]

付図 4. 2 (2)　橋脚単体（橋脚基部）の最大曲げモーメント（正弦波入力振動実験）



(a) 愛鷹記録 ($\ddot{u}_B$)

(b) 愛鷹記録 ($\ddot{u}_A$, $\ddot{u}_B$, $\ddot{u}_C$)

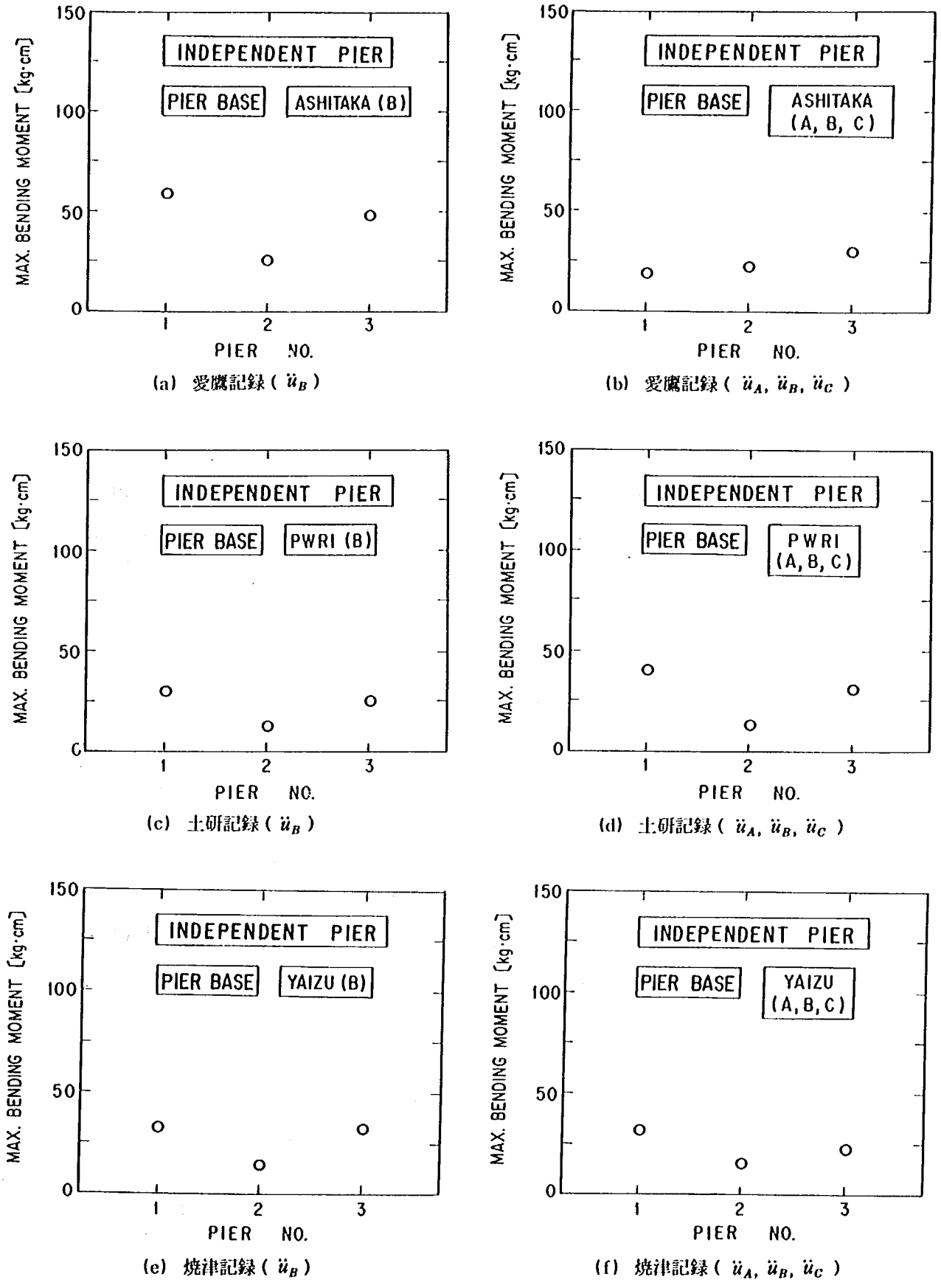
(c) 土研記録 ($\ddot{u}_B$)

(d) 土研記録 ($\ddot{u}_A$, $\ddot{u}_B$, $\ddot{u}_C$)

(e) 焼津記録 ($\ddot{u}_B$)

(f) 焼津記録 ($\ddot{u}_A$, $\ddot{u}_B$, $\ddot{u}_C$)

付図 4.3　橋脚単体の最大加速度 (地震波入力振動実験)

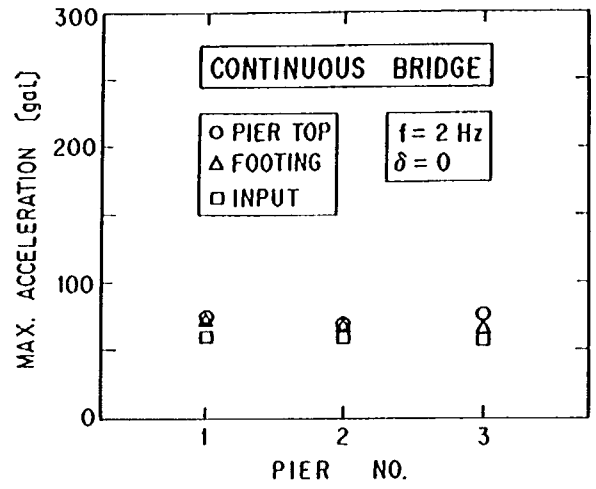


(a) 愛鷹記録 ($\ddot{u}_B$)　(b) 愛鷹記録 ($\ddot{u}_A$, $\ddot{u}_B$, $\ddot{u}_C$)

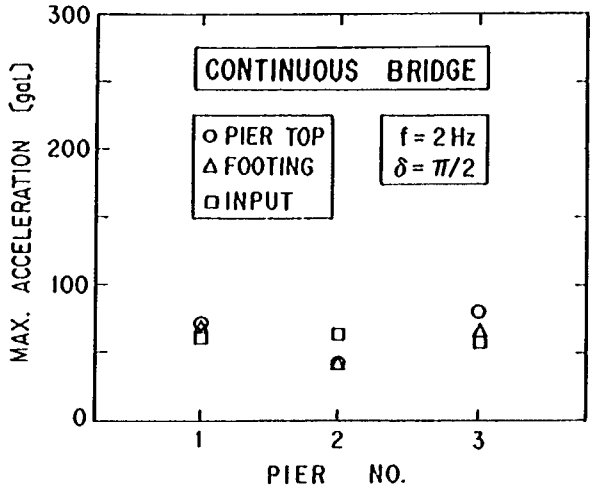
(c) 土研記録 ($\ddot{u}_B$)　(d) 土研記録 ($\ddot{u}_A$, $\ddot{u}_B$, $\ddot{u}_C$)

(e) 焼津記録 ($\ddot{u}_B$)　(f) 焼津記録 ($\ddot{u}_A$, $\ddot{u}_B$, $\ddot{u}_C$)

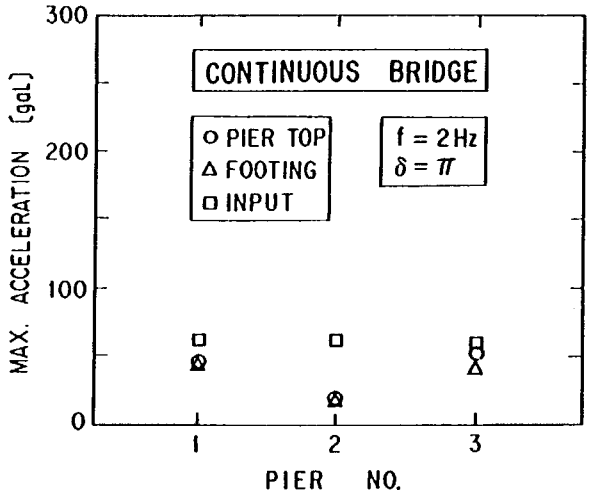
付図 4.4　橋脚単体の最大曲げモーメント (地震波入力振動実験)



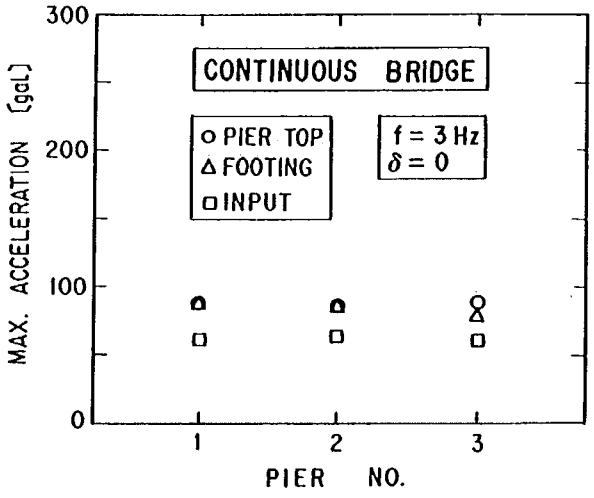
(a) $f = 2$ (Hz) ($\delta = 0$)



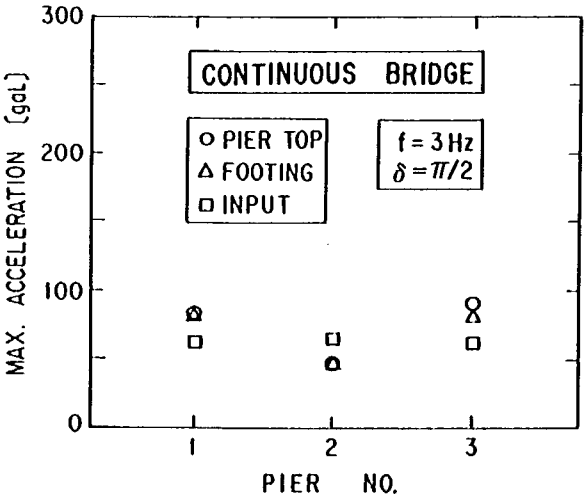
(b) $f = 2$ (Hz) ($\delta = \pi/2$)



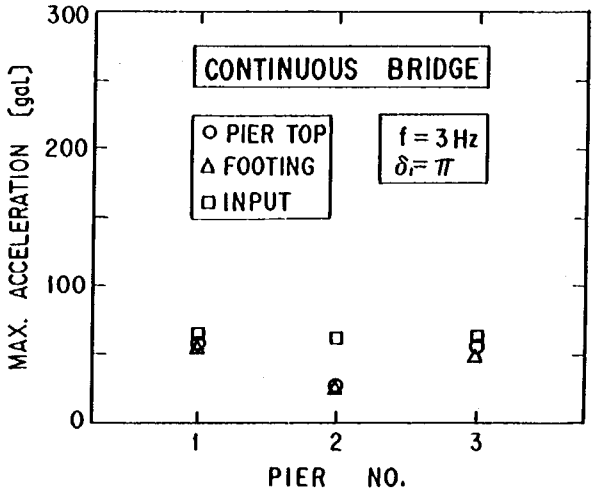
(c) $f = 2$ (Hz) ($\delta = \pi$)



(d) $f = 3$ (Hz) ($\delta = 0$)

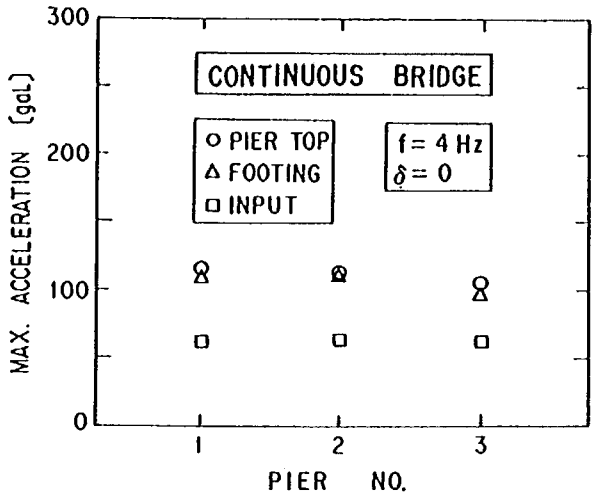


(e) $f = 3$ (Hz) ($\delta = \pi/2$)

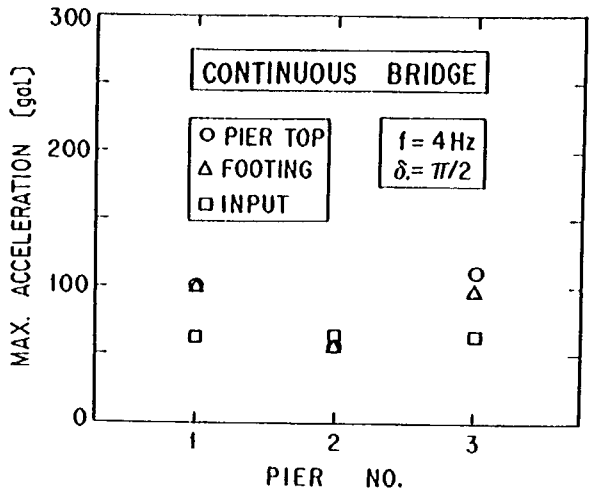


(f) $f = 3$ (Hz) ($\delta = \pi$)

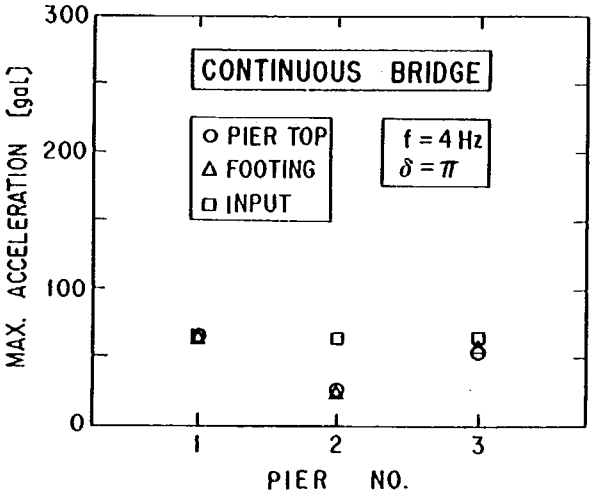
付図 4.5(1) 連続橋の最大加速度（正弦波位相差入力振動実験）



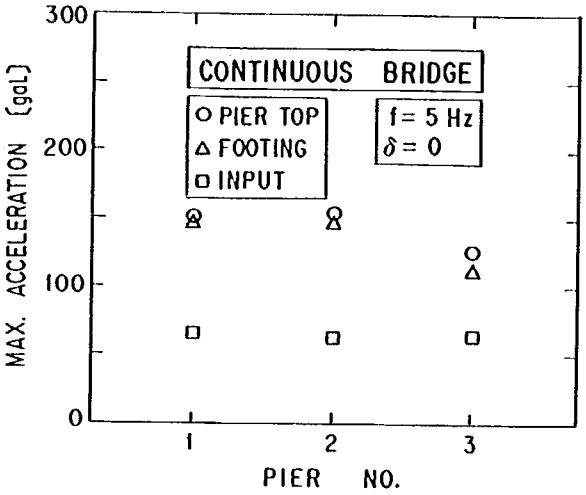
(g) $f = 4$ (Hz) ($\delta = 0$)



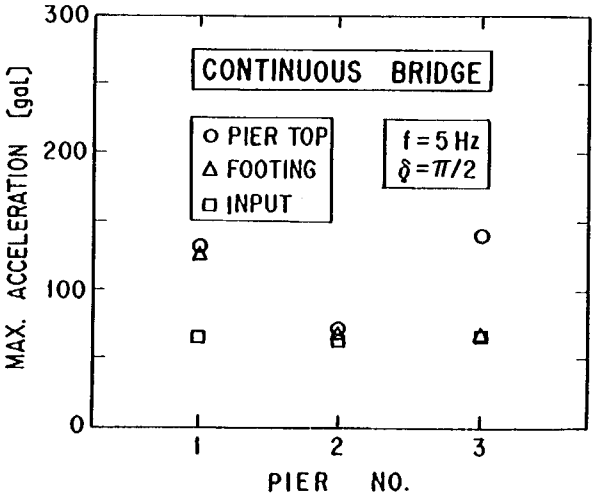
(h) $f = 4$ (Hz) ($\delta = \pi/2$)



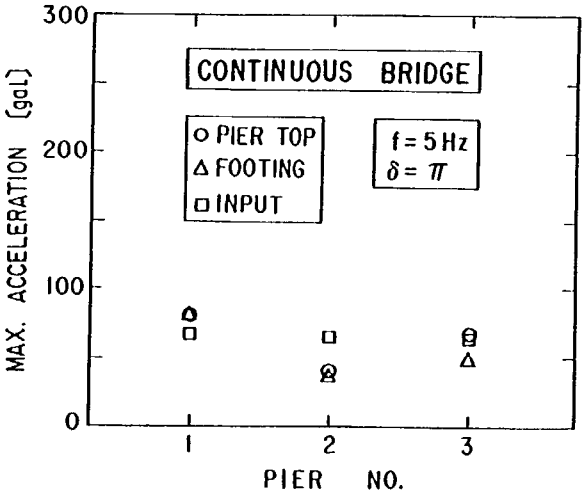
(i) $f = 4$ (Hz) ($\delta = \pi$)



(j) $f = 5$ (Hz) ($\delta = 0$)

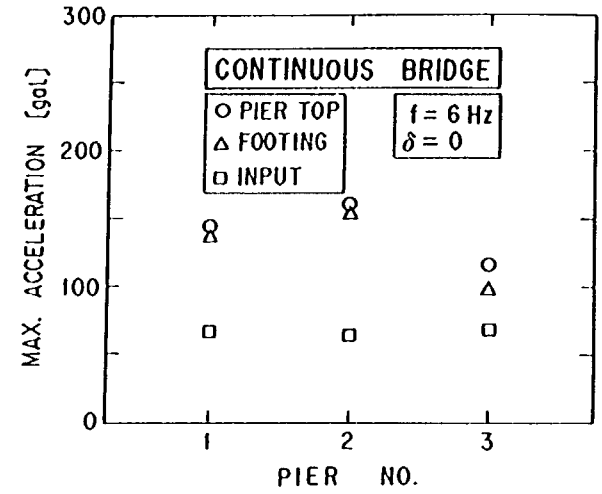


(k) $f = 5$ (Hz) ($\delta = \pi/2$)

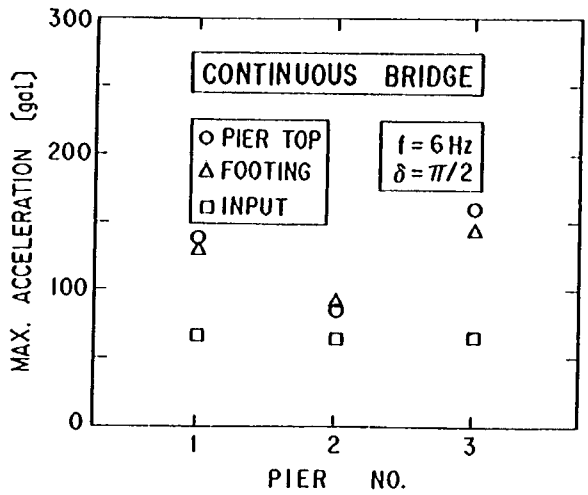


(l) $f = 5$ (Hz) ($\delta = \pi$)

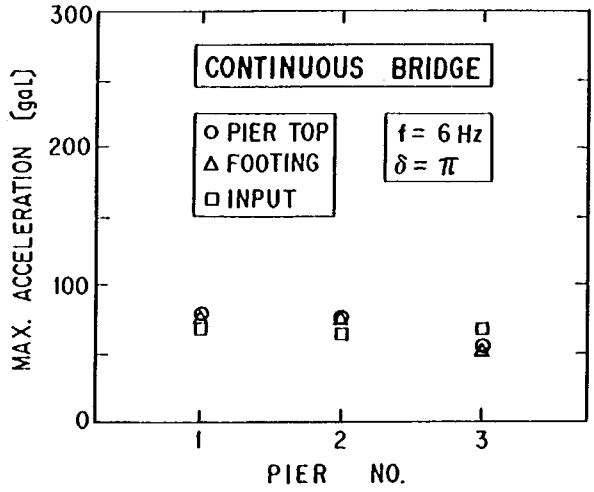
付図 4.5(2) 連続橋の最大加速度（正弦波位相差入力振動実験）



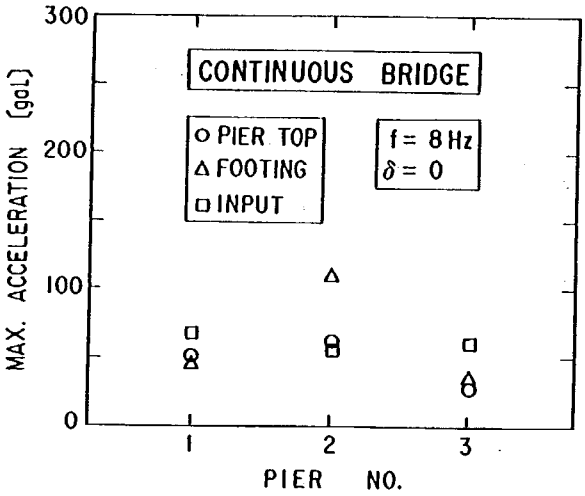
(m) $f = 6$ (Hz) ($\delta = 0$)



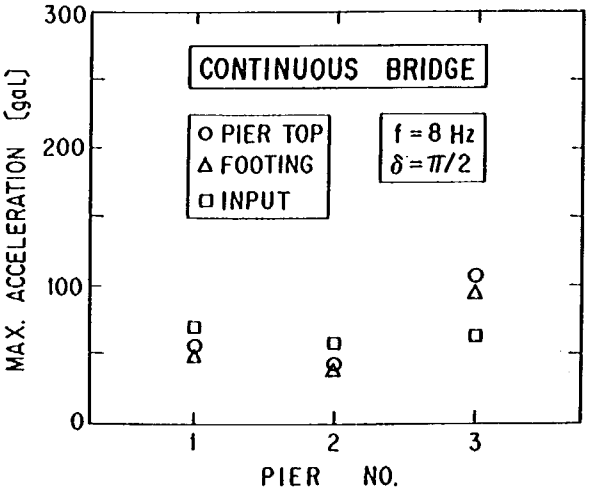
(n) $f = 6$ (Hz) ($\delta = \pi/2$)



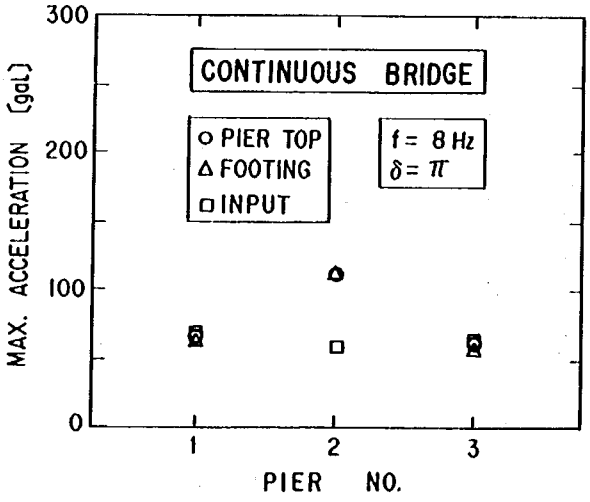
(o) $f = 6$ (Hz) ($\delta = \pi$)



(p) $f = 8$ (Hz) ($\delta = 0$)

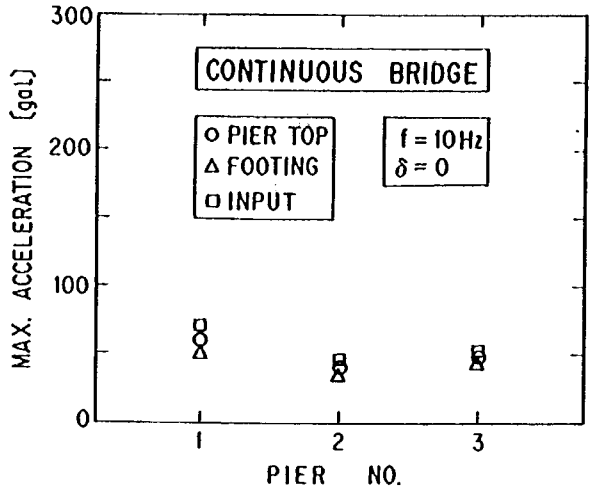


(q) $f = 8$ (Hz) ($\delta = \pi/2$)

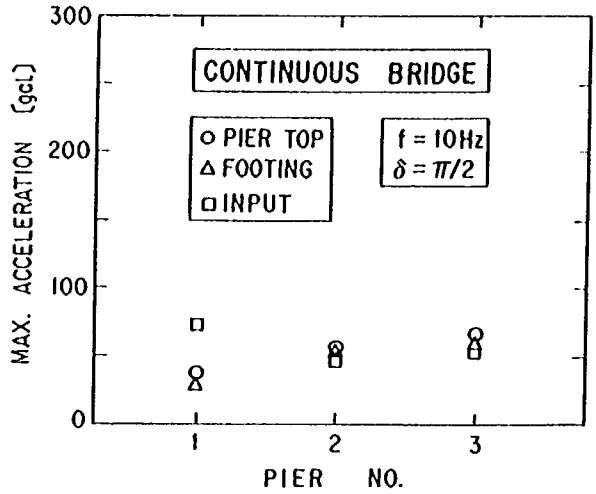


(r) $f = 8$ (Hz) ($\delta = \pi$)

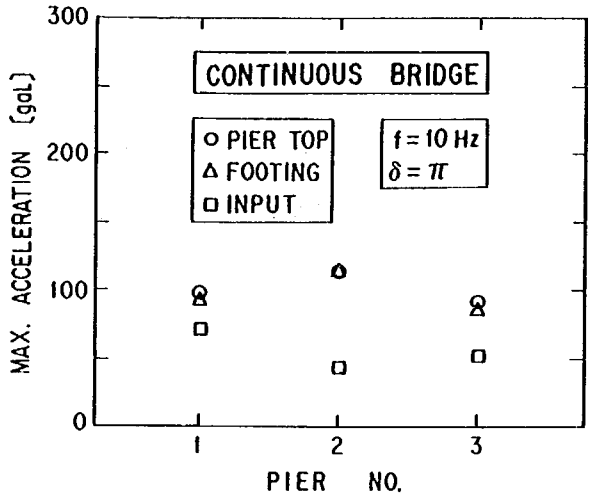
付図 4.5(3) 連続橋の最大加速度（正弦波位相差入力振動実験）



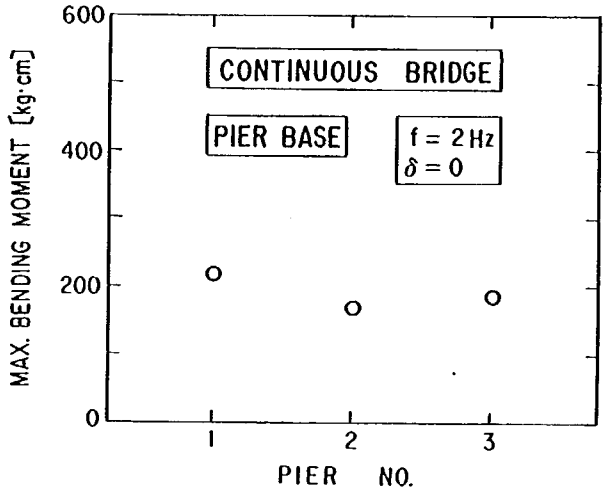
(s) $f = 10$ (Hz) ($\delta = 0$)



(t) $f = 10$ (Hz) ($\delta = \pi/2$)

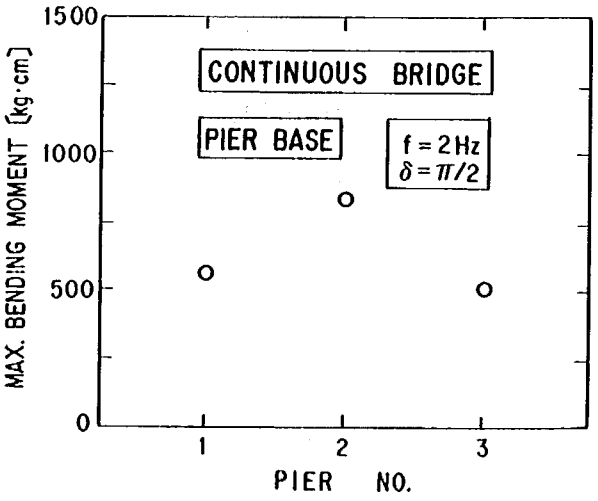


(u) $f = 10$ (Hz) ($\delta = \pi$)

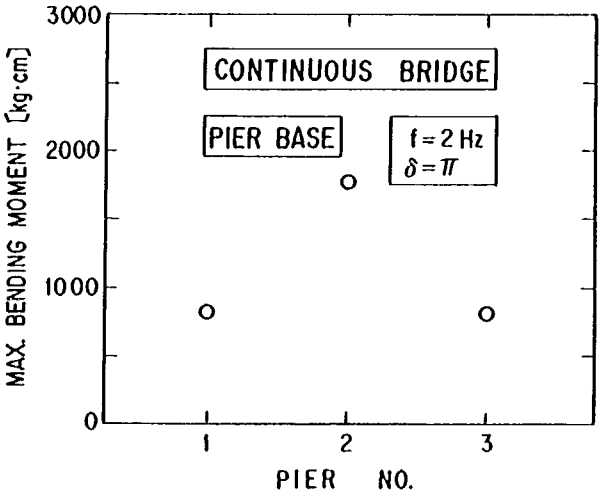


(a) $f = 2$ (Hz) ($\delta = 0$)

付図 4. 5(4)　連続橋の最大加速度
（正弦波位相差入力振動実験）

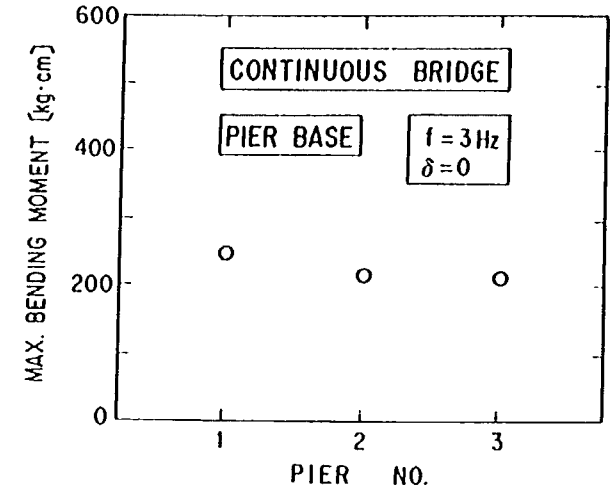


(b) $f = 2$ (Hz) ($\delta = \pi/2$)

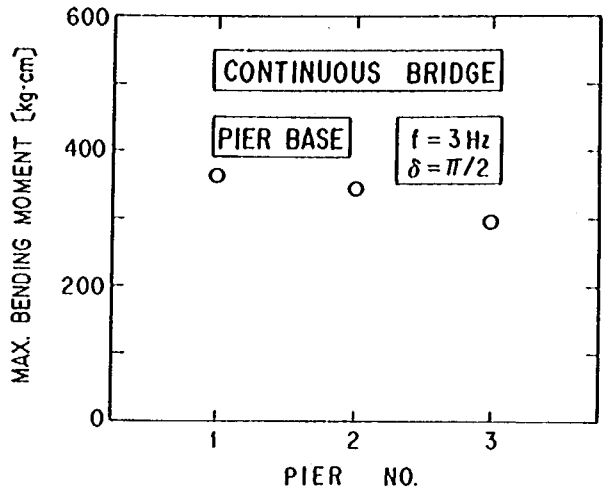


(c) $f = 2$ (Hz) ($\delta = \pi$)

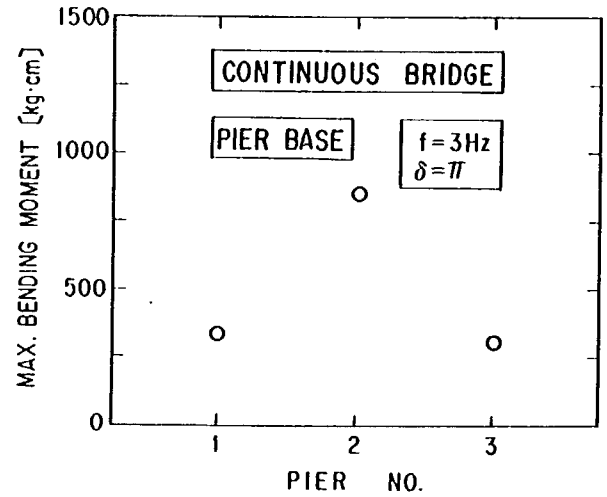
付図 4. 6(1)　連続橋（橋脚基部）の最大曲げモーメント（正弦波位相差入力振動実験）



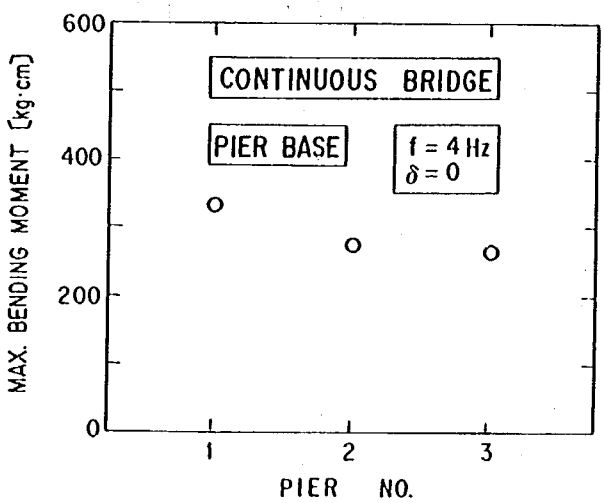
(d) $f = 3$ [Hz] ($\delta = 0$)



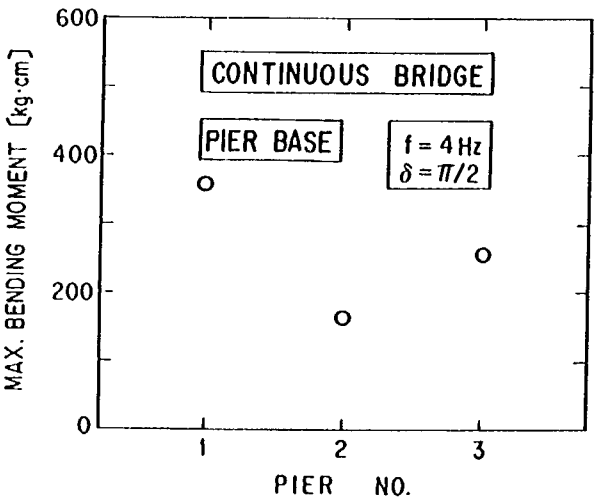
(e) $f = 3$ [Hz] ($\delta = \pi/2$)



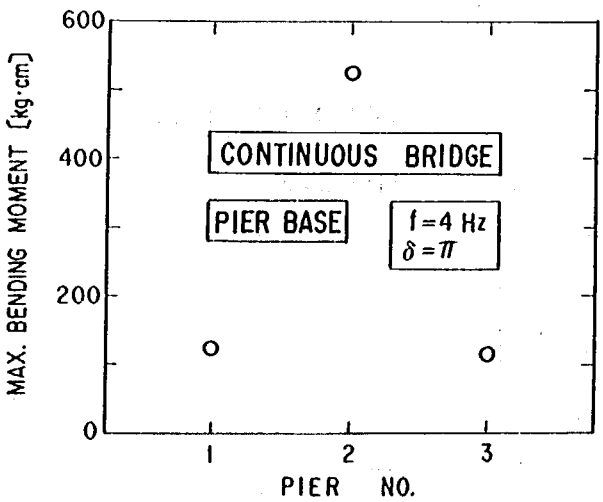
(f) $f = 3$ [Hz] ($\delta = \pi$)



(g) $f = 4$ [Hz] ($\delta = 0$)

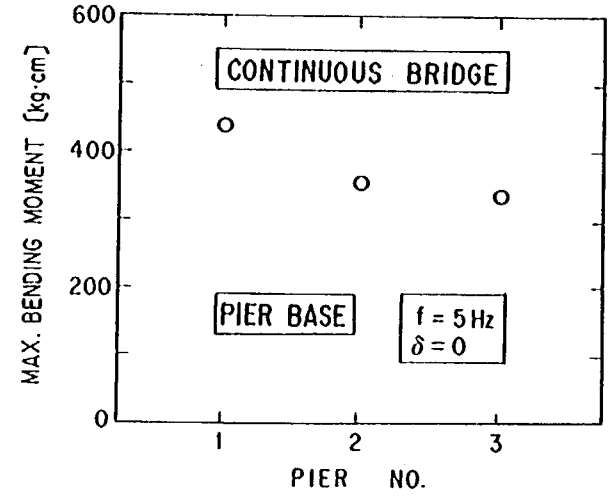


(h) $f = 4$ [Hz] ($\delta = \pi/2$)

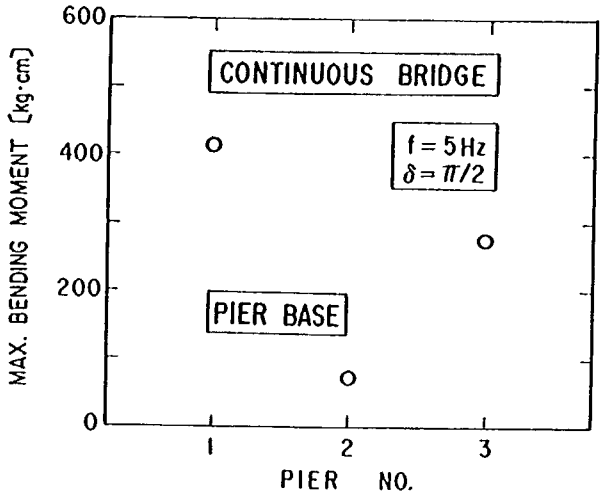


(i) $f = 4$ [Hz] ($\delta = \pi$)

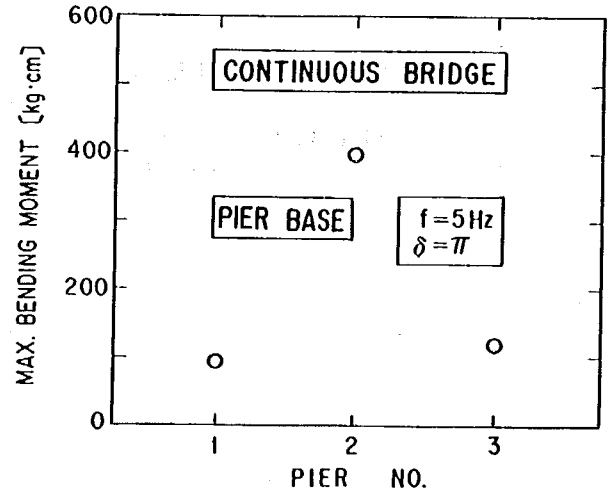
付図 4.6(2) 連続橋（橋脚基部）の最大曲げモーメント（正弦波位相差入力振動実験）



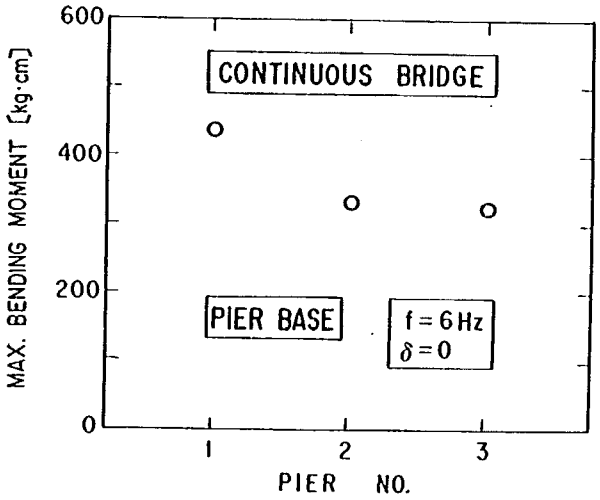
(j) $f = 5$ [Hz] ($\delta = 0$)



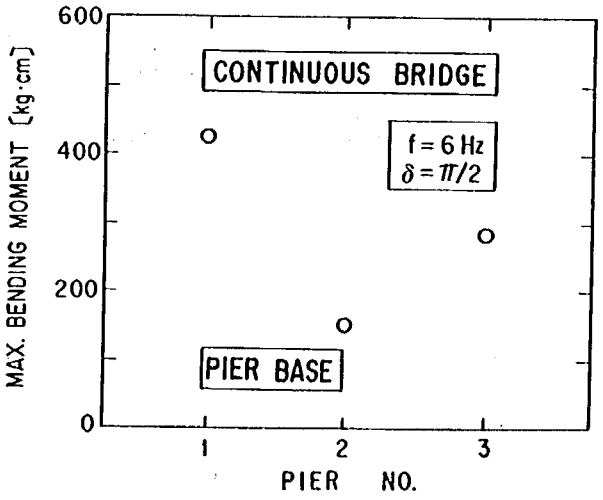
(k) $f = 5$ [Hz] ($\delta = \pi/2$)



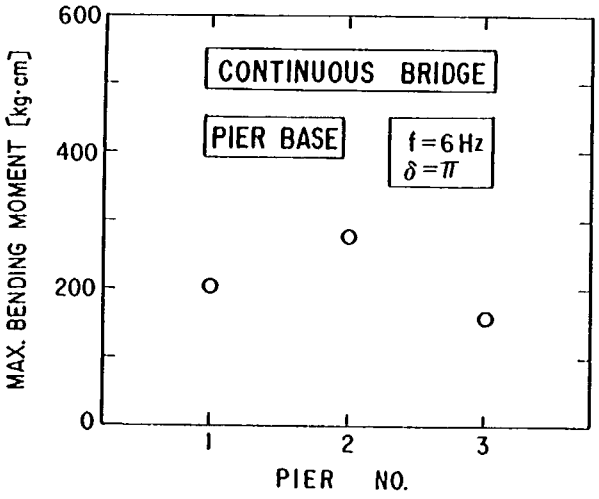
(l) $f = 5$ [Hz] ($\delta = \pi$)



(m) $f = 6$ [Hz] ($\delta = 0$)

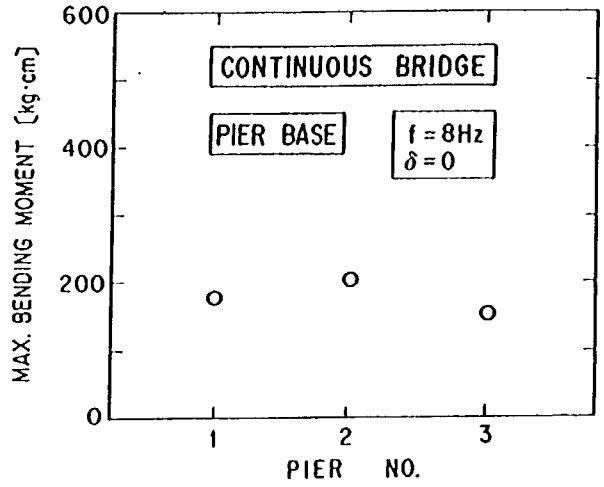


(n) $f = 6$ [Hz] ($\delta = \pi/2$)

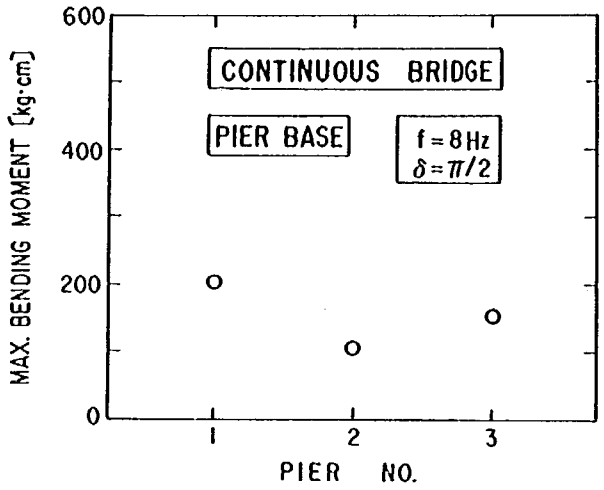


(o) $f = 6$ [Hz] ($\delta = \pi$)

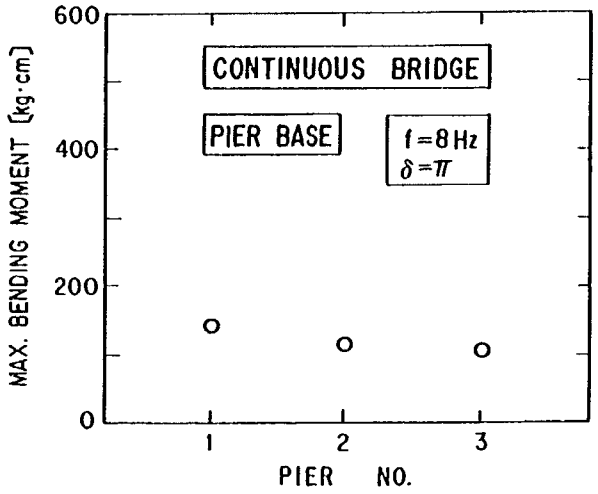
付図 4.6(3) 連続橋（橋脚基部）の最大曲げモーメント（正弦波位相差入力振動実験）



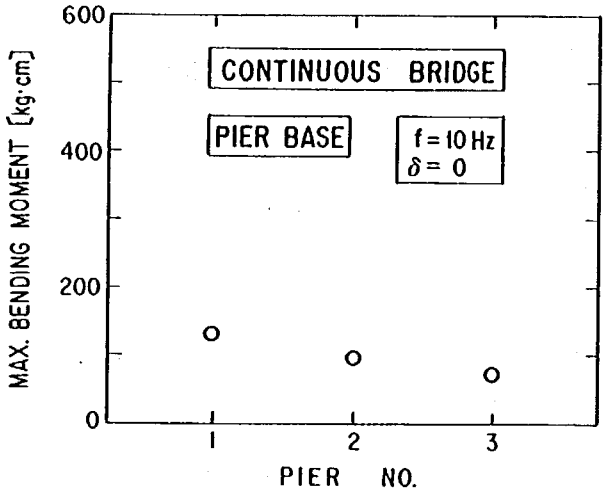
(p) $f = 8$ (Hz) ($\delta = 0$)



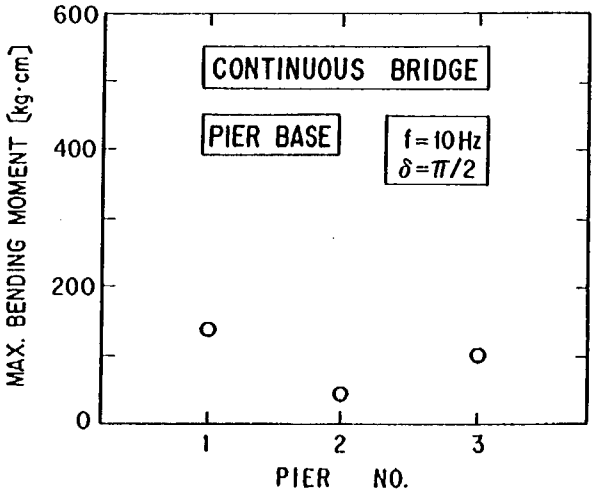
(q) $f = 8$ (Hz) ($\delta = \pi/2$)



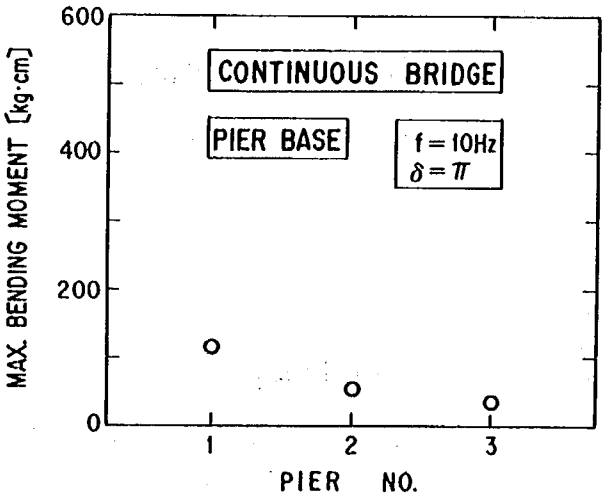
(r) $f = 8$ (Hz) ($\delta = \pi$)



(s) $f = 10$ (Hz) ($\delta = 0$)

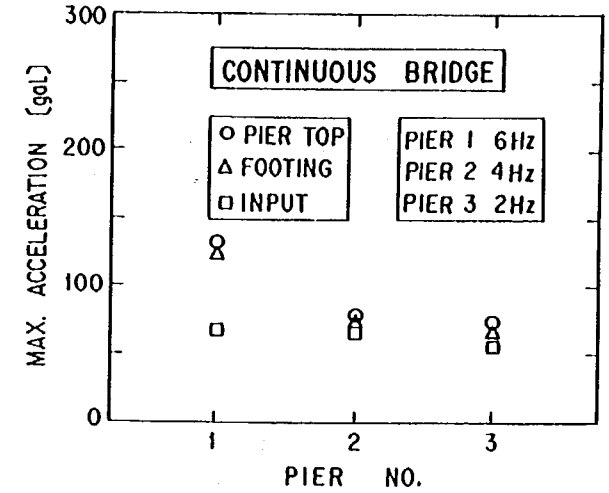


(t) $f = 10$ (Hz) ($\delta = \pi/2$)

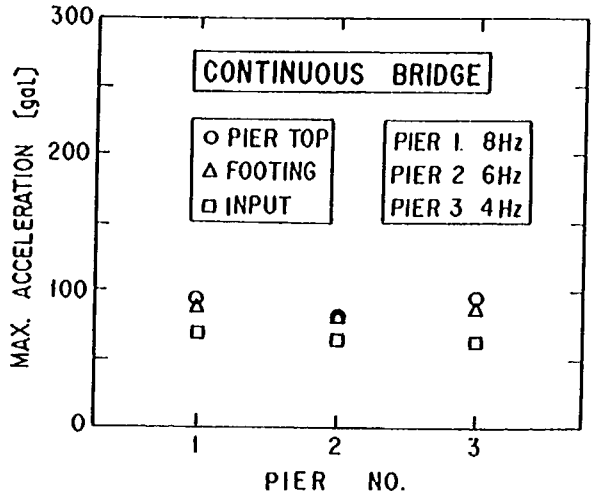


(u) $f = 10$ (Hz) ($\delta = \pi$)

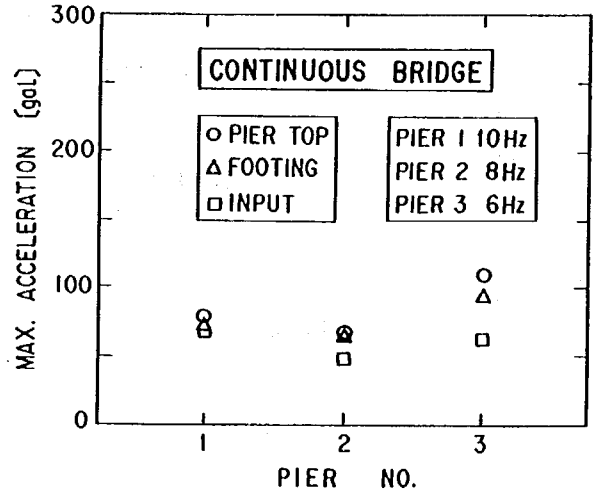
付図 4.6(4)　連続橋（橋脚基部）の最大曲げモーメント（正弦波位相差入力振動実験）



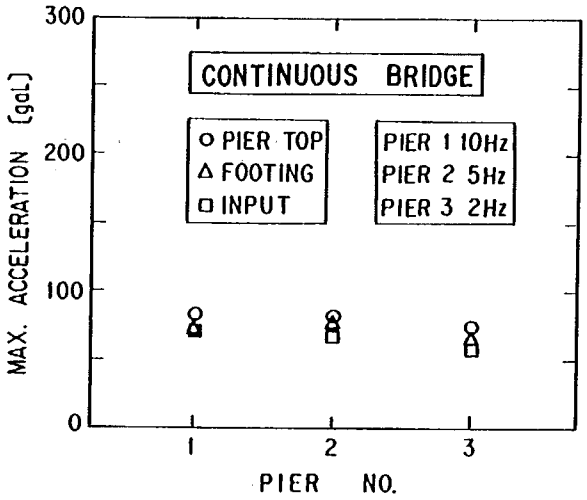
(a) $f=6,\ 4,\ 2$ (Hz)



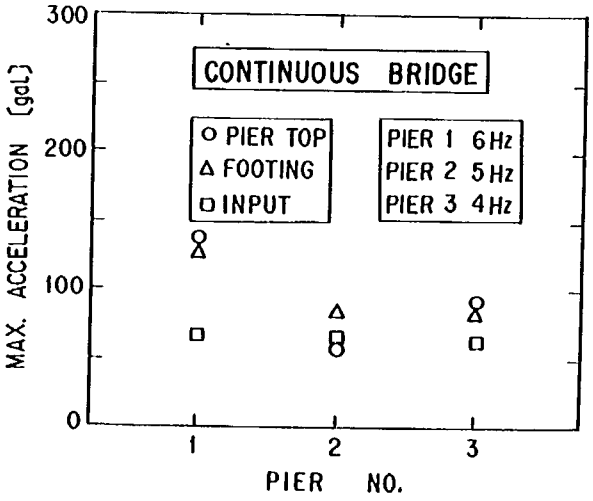
(b) $f=8,\ 6,\ 4$ (Hz)



(c) $f=10,\ 8,\ 6$ (Hz)

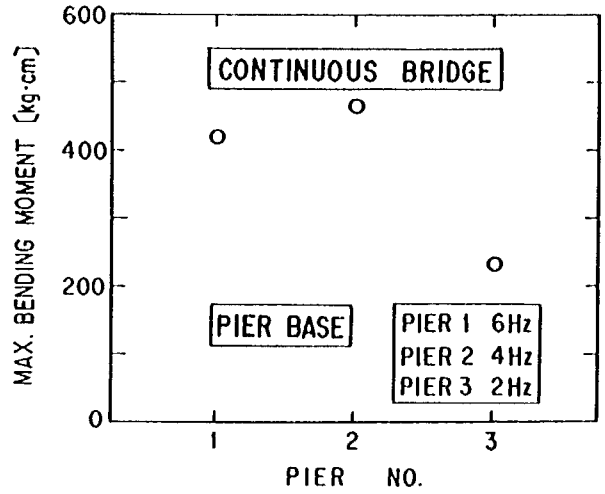


(d) $f=10,\ 5,\ 2$ (Hz)

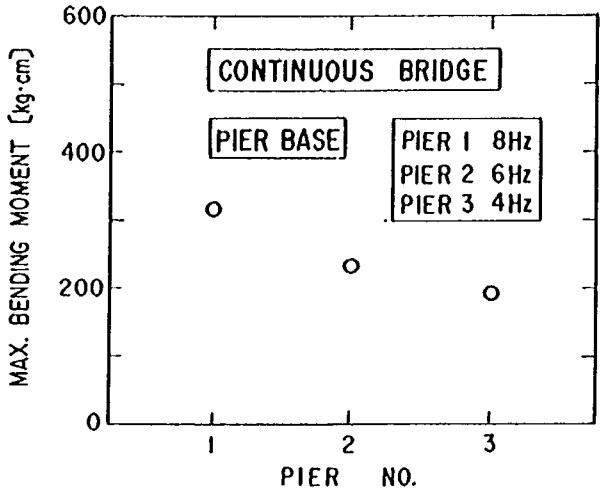


(e) $f=6,\ 5,\ 4$ (Hz)

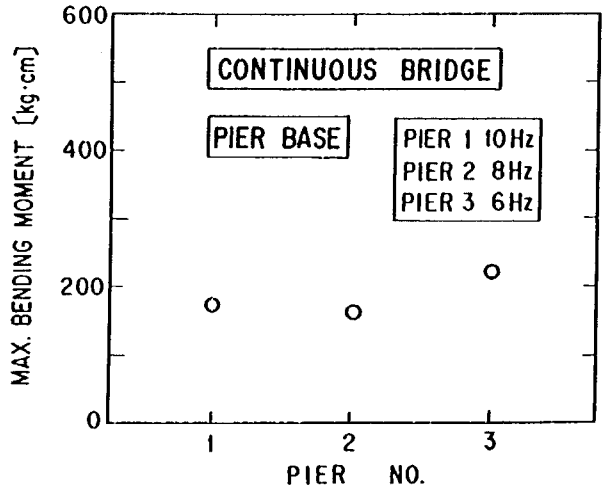
付図 4.7　連続橋の最大加速度（正弦波多点入力振動実験）



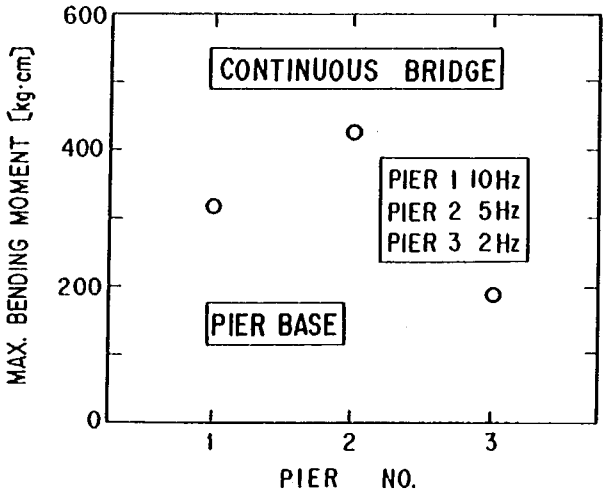
(a) $f=6,\ 4,\ 2$ (Hz)



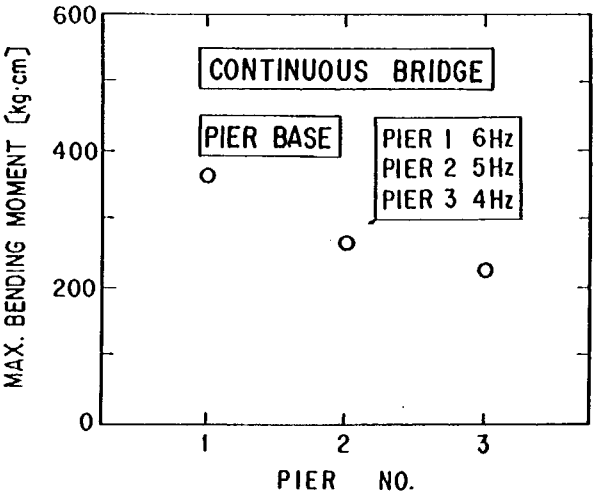
(b) $f=8,\ 6,\ 4$ (Hz)



(c) $f=10,\ 8,\ 6$ (Hz)

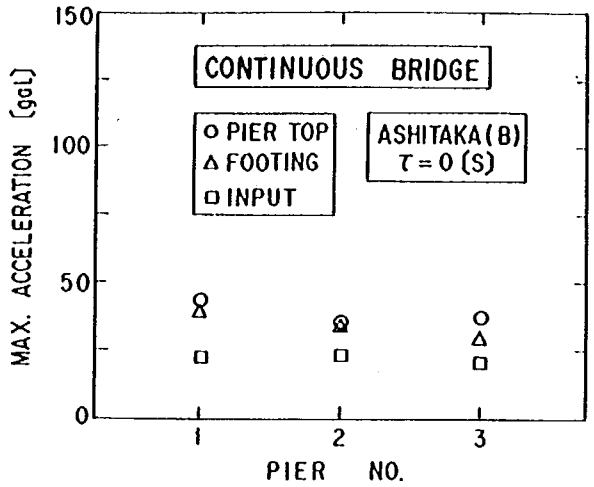


(d) $f=10,\ 5,\ 2$ (Hz)

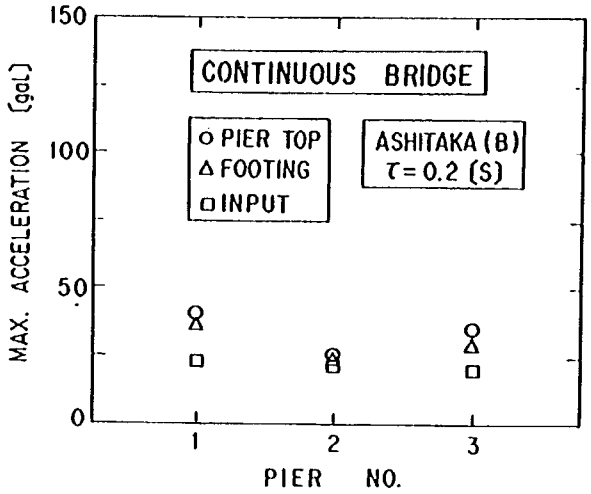


(e) $f=6,\ 5,\ 4$ (Hz)

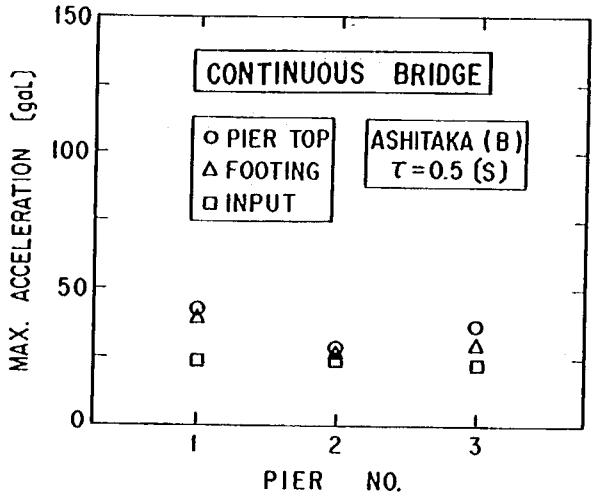
付図 4.8　連続橋（橋脚基部）の最大曲げモーメント（正弦波多点入力振動実験）



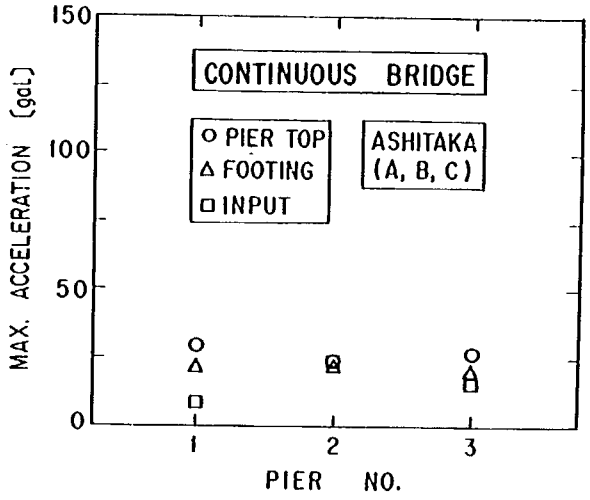
(a) 愛鷹記録 ($\ddot{u}_B$, $\tau = 0$ (s))



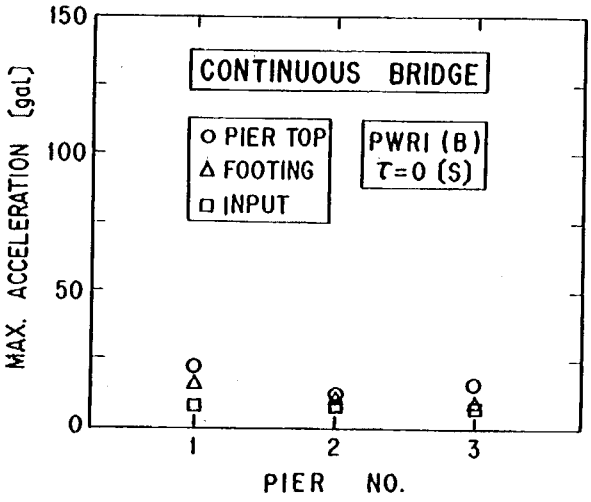
(b) 愛鷹記録 ($\ddot{u}_B$, $\tau = 0.2$ (s))



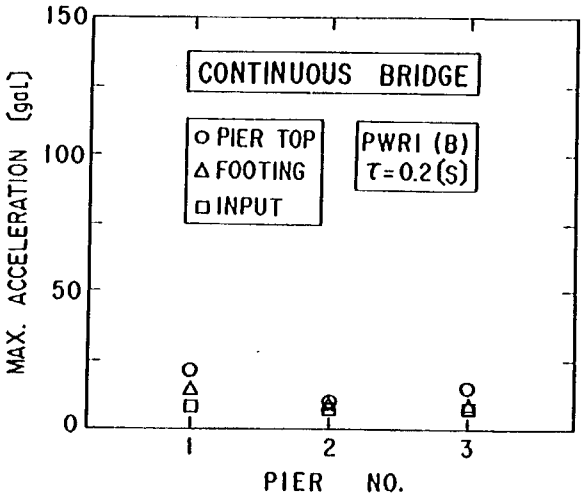
(c) 愛鷹記録 ($\ddot{u}_B$, $\tau = 0.5$ (s))



(d) 愛鷹記録 ($\ddot{u}_A$, $\ddot{u}_B$, $\ddot{u}_C$)

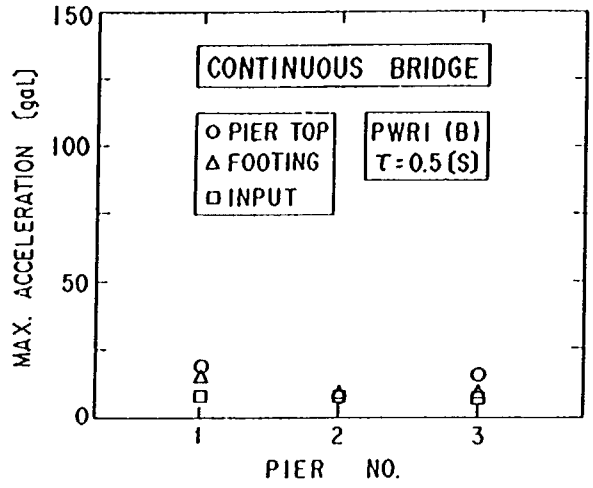


(e) 土研記録 ($\ddot{u}_B$, $\tau = 0$ (s))

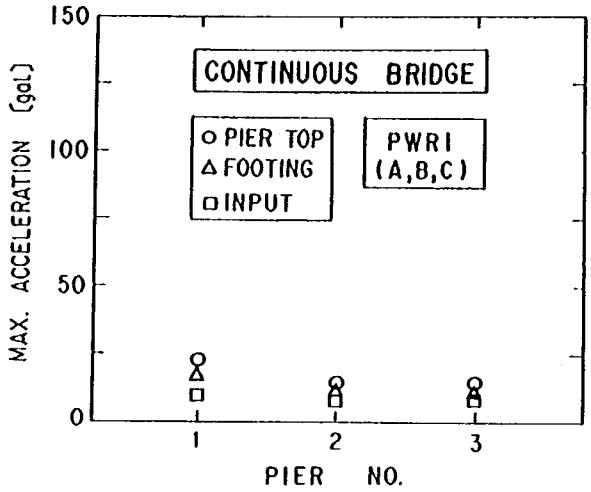


(f) 土研記録 ($\ddot{u}_B$, $\tau = 0.2$ (s))

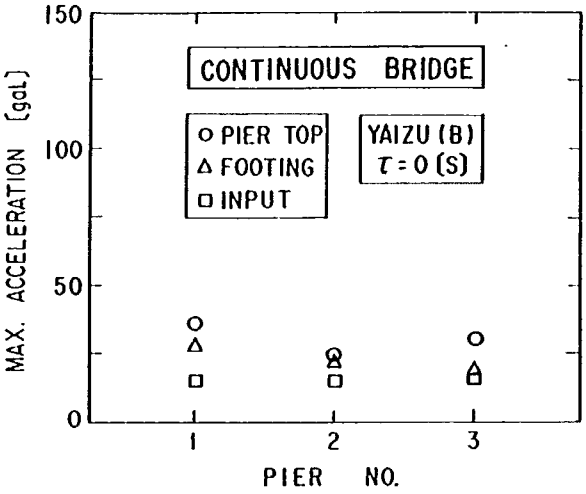
付図 4.9(1) 連続橋の最大加速度 (地震波入力振動実験)



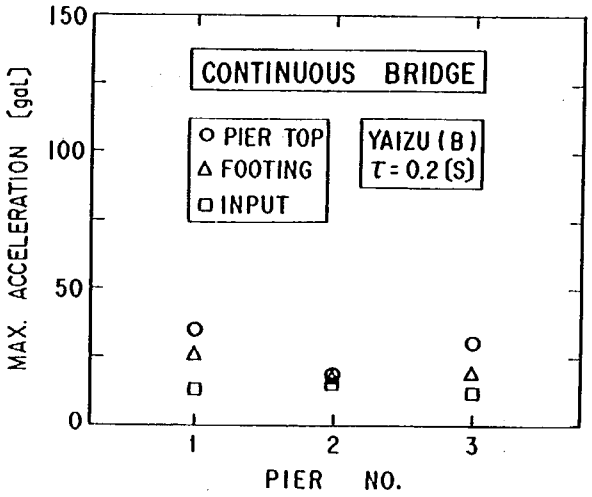
(g) 土研記録 ($\ddot{u}_B$, $\tau = 0.5$(s))



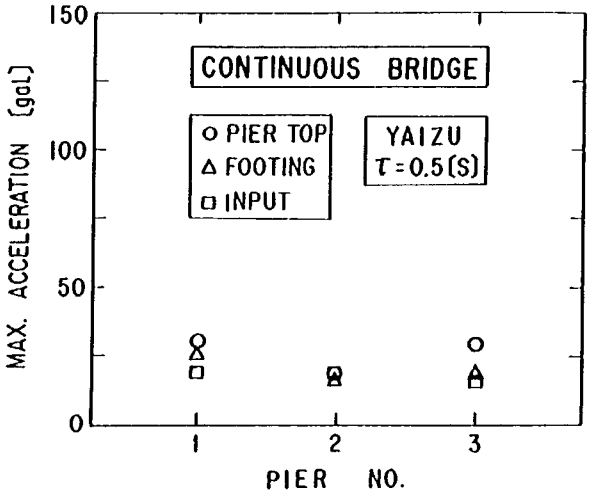
(h) 土研記録 ($\ddot{u}_A$, $\ddot{u}_B$, $\ddot{u}_C$)



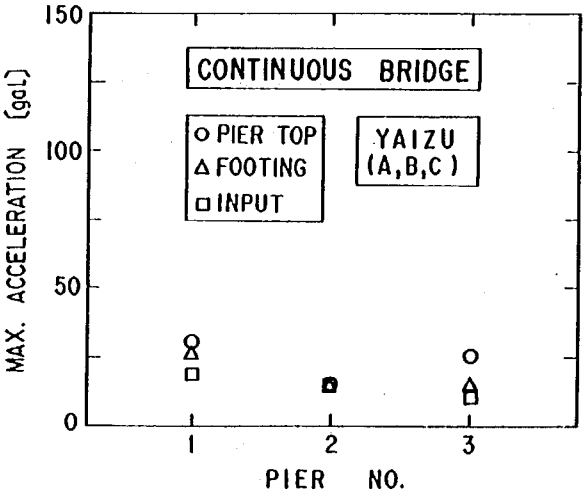
(i) 焼津記録 ($\ddot{u}_B$, $\tau = 0$ (s))



(j) 焼津記録 ($\ddot{u}_B$, $\tau = 0.2$(s))

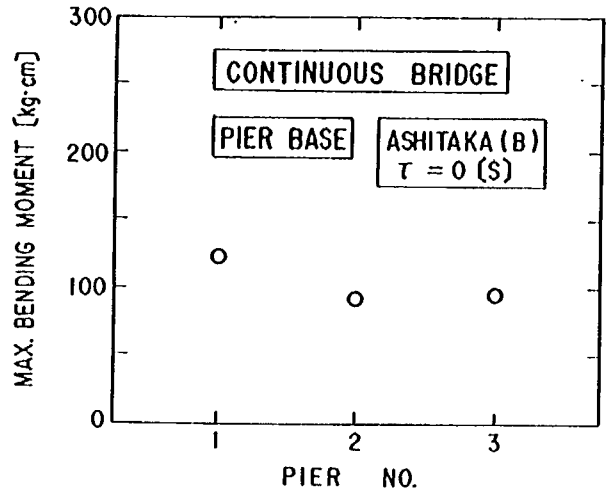


(k) 焼津記録 ($\ddot{u}_B$, $\tau = 0.5$(s))

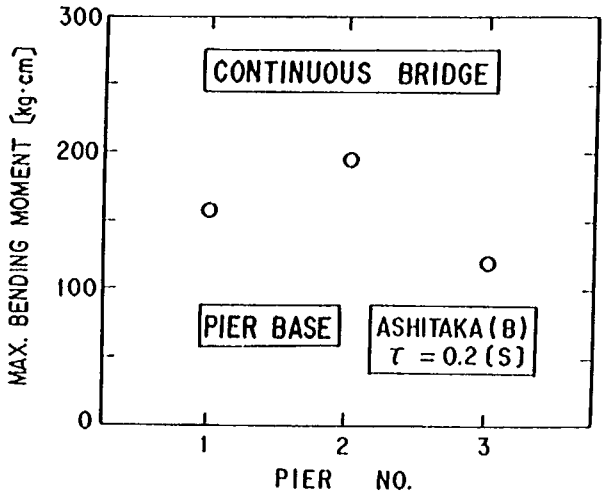


(l) 焼津記録 ($\ddot{u}_A$, $\ddot{u}_B$, $\ddot{u}_C$)

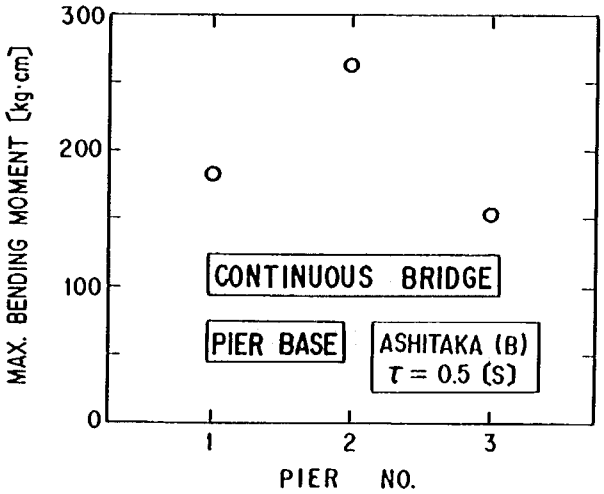
付図 4.9(2) 連続橋の最大加速度 (地震波入力振動実験)



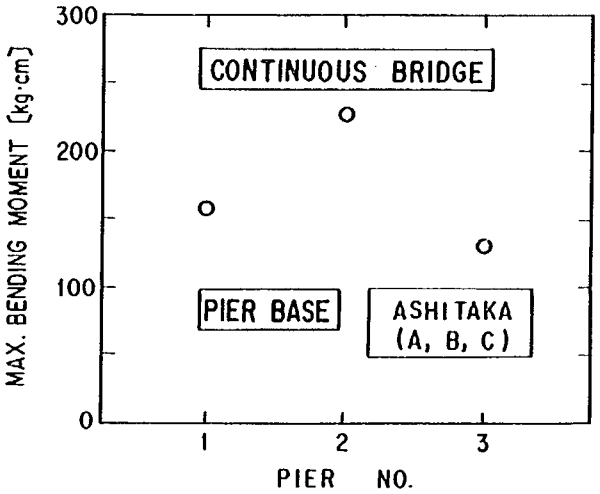
(a) 愛鷹記録（ $\ddot{u}_B$, $\tau = 0$ [s] ）



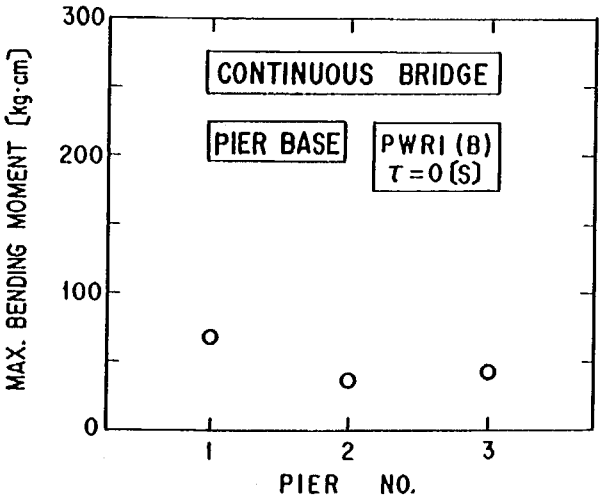
(b) 愛鷹記録（ $\ddot{u}_B$, $\tau = 0.2$ [s] ）



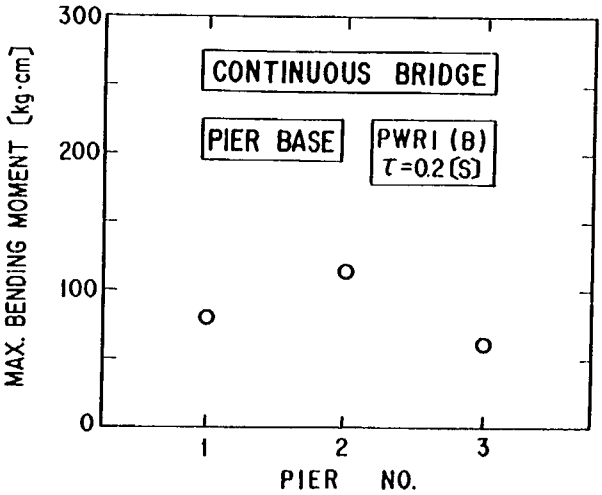
(c) 愛鷹記録（ $\ddot{u}_B$, $\tau = 0.5$ [s] ）



(d) 愛鷹記録（ $\ddot{u}_A$, $\ddot{u}_B$, $\ddot{u}_C$ ）

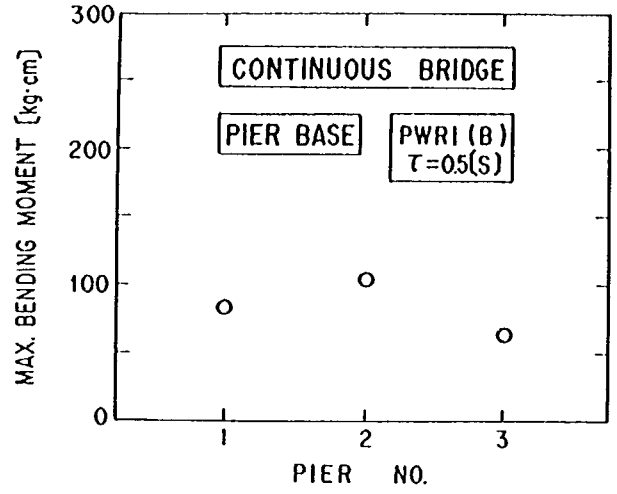


(e) 土研記録（ $\ddot{u}_B$, $\tau = 0$ [s] ）

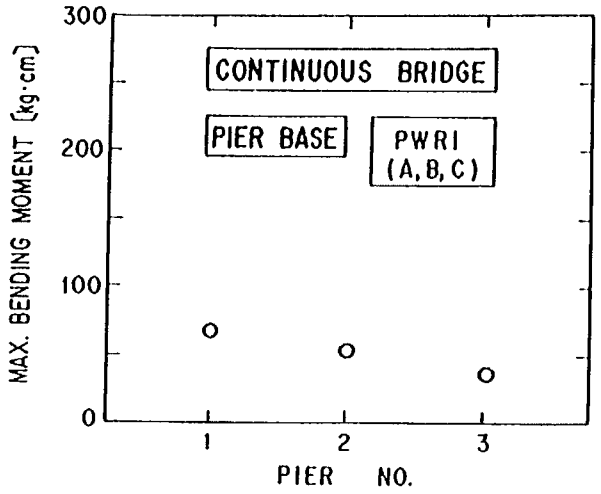


(f) 土研記録（ $\ddot{u}_B$, $\tau = 0.2$ [s] ）

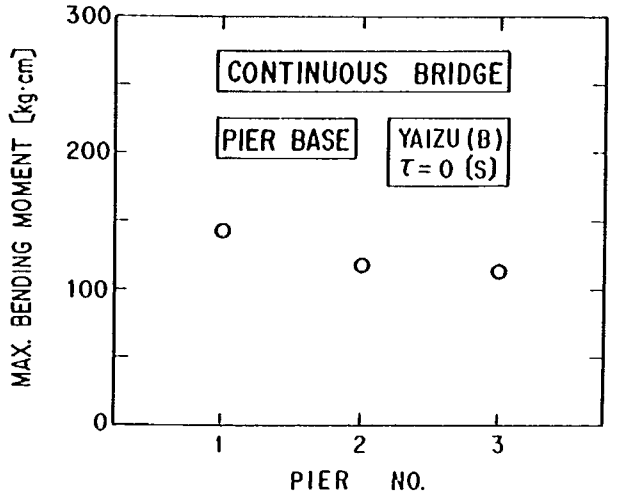
付図 4.10(1) 連続橋（橋脚基部）の最大曲げモーメント（地震波入力振動実験）



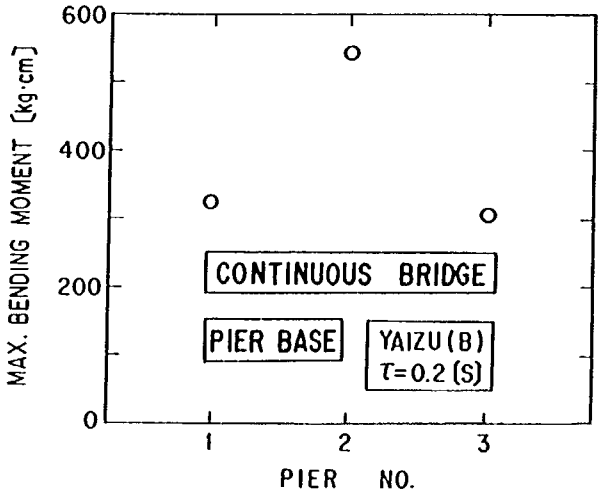
(g) 土研記録 ($\ddot{u}_B$, $\tau = 0.5$(s))



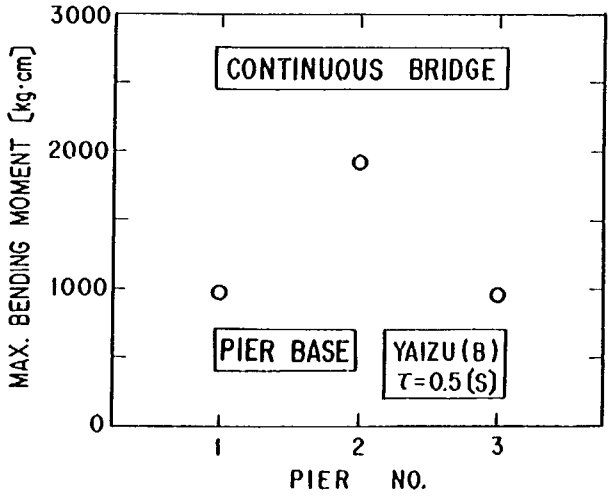
(h) 土研記録 ($\ddot{u}_A$, $\ddot{u}_B$, $\ddot{u}_C$)



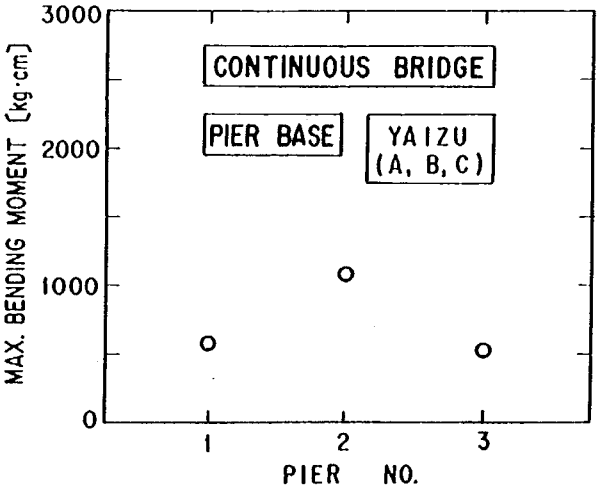
(i) 焼津記録 ($\ddot{u}_B$, $\tau = 0$ (s))



(j) 焼津記録 ($\ddot{u}_B$, $\tau = 0.2$(s))



(k) 焼津記録 ($\ddot{u}_B$, $\tau = 0.5$(s))

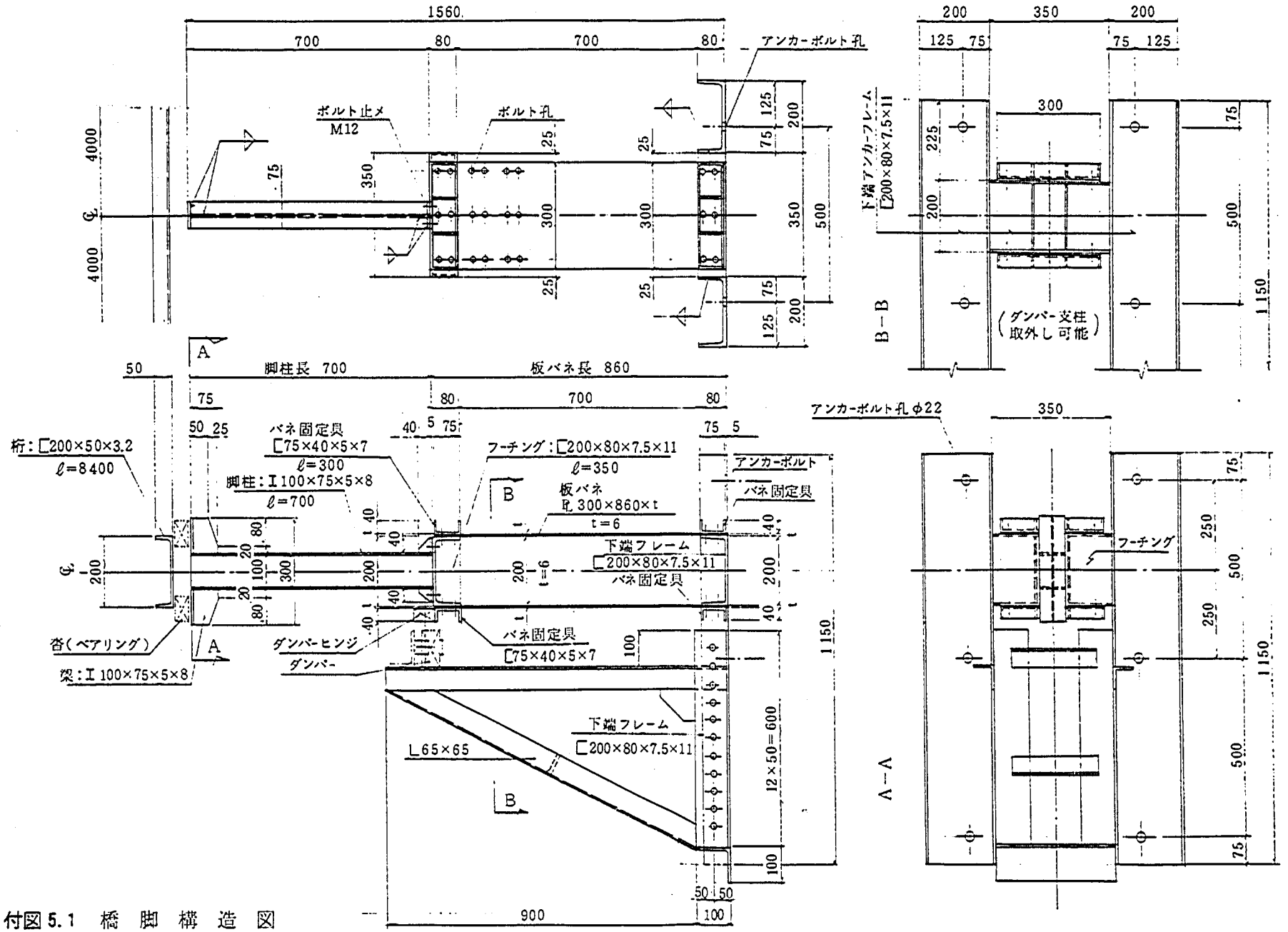


(l) 焼津記録 ($\ddot{u}_A$, $\ddot{u}_B$, $\ddot{u}_C$)

付図 4.10(2) 連続橋 (橋脚基部) の最大曲げモーメント (地震波入力振動実験)

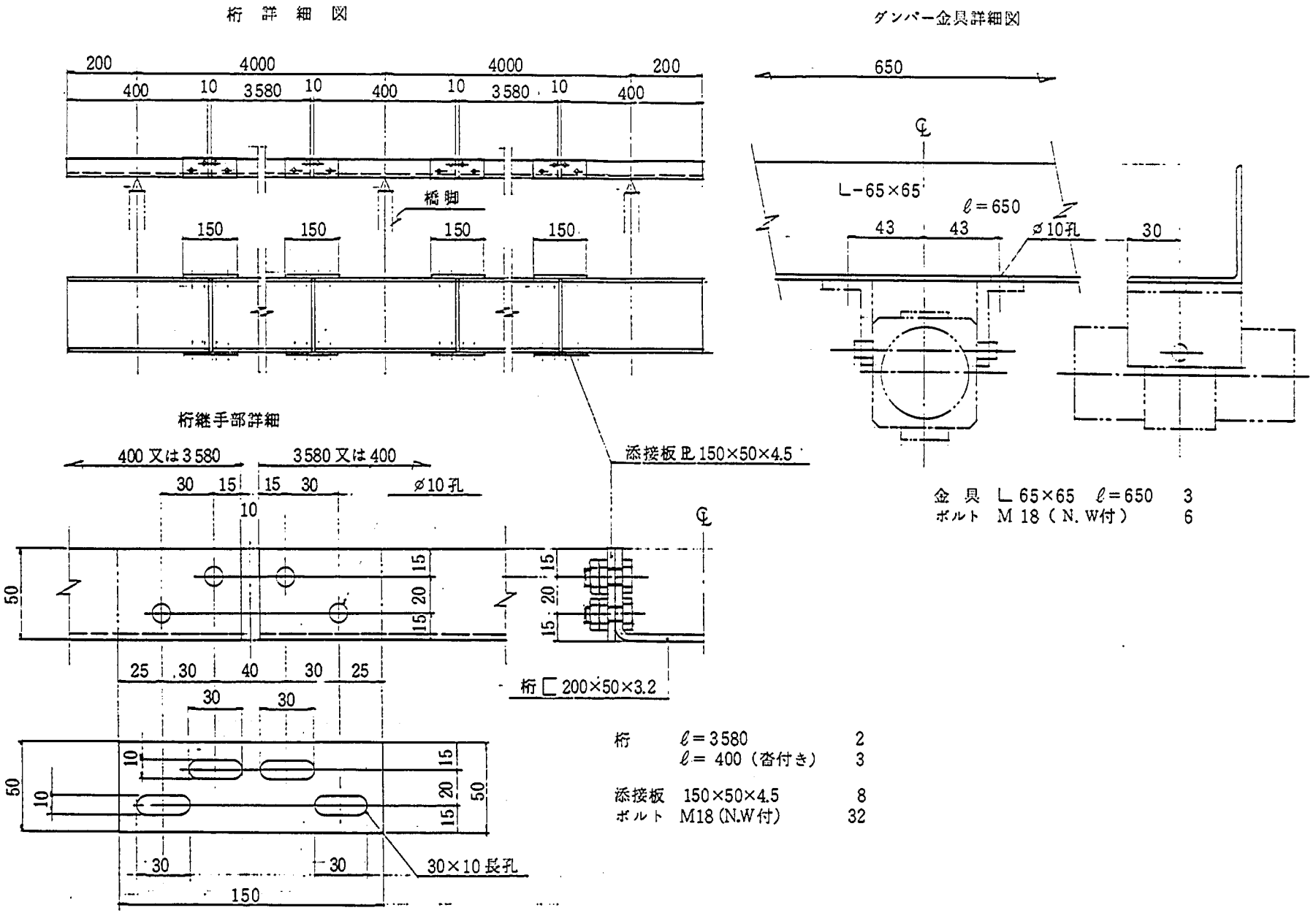
付 属 資 料 5

模 型 構 造 図



1560
700
80
700
80
アンカーボルト孔
ボルト止メ
M12
ボルト孔
4000
4000
75
350
25
300
125
200
500
A
50
脚柱長 700
板バネ長 860
75
80
700
80
50 25
40 5 75
75 5
桁：[200×50×3.2
ℓ=8400
バネ固定具
[75×40×5×7
ℓ=300
脚柱：I 100×75×5×8
ℓ=700
フーチング：[200×80×7.5×11
ℓ=350
B
板バネ
PL 300×860×t
t=6
アンカーボルト
バネ固定具
下端フレーム
[200×80×7.5×11
バネ固定具
t=6
200
100
300
20
80
40
ダンパーヒンジ
ダンパー
バネ固定具
[75×40×5×7
100
1150
沓（ベアリング）
梁：I 100×75×5×8
下端フレーム
[200×80×7.5×11
L65×65
12×50=600
900
50 50
100
200
350
200
125 75
75 125
300
下端アンカーフレーム
[200×80×7.5×11
225
200
500
1150
B－B
（ダンパー支柱
取外し可能）
アンカーボルト孔 φ22
350
フーチング
250
500
1150
A－A

付図 5.1　橋　脚　構　造　図



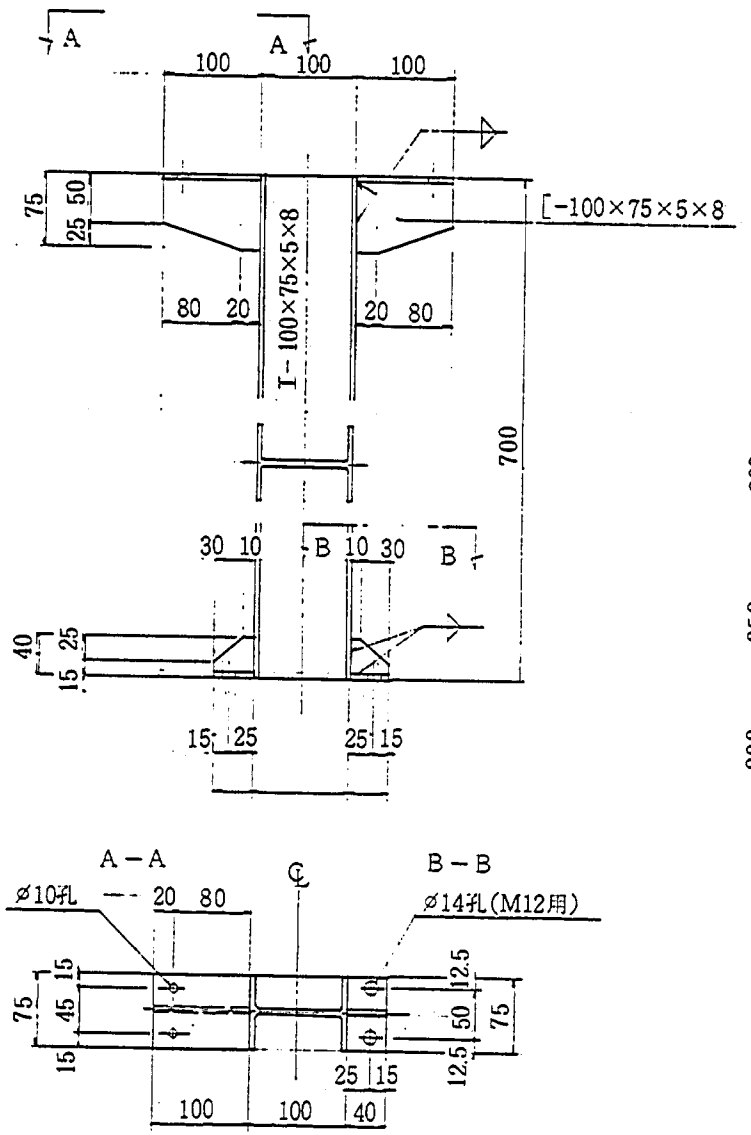
金 具 L 65×65 ℓ=650 3
ボルト M 18 (N. W付) 6

桁 ℓ=3580 2
ℓ= 400 (沓付き) 3

添接板 150×50×4.5 8
ボルト M18 (N.W付) 32

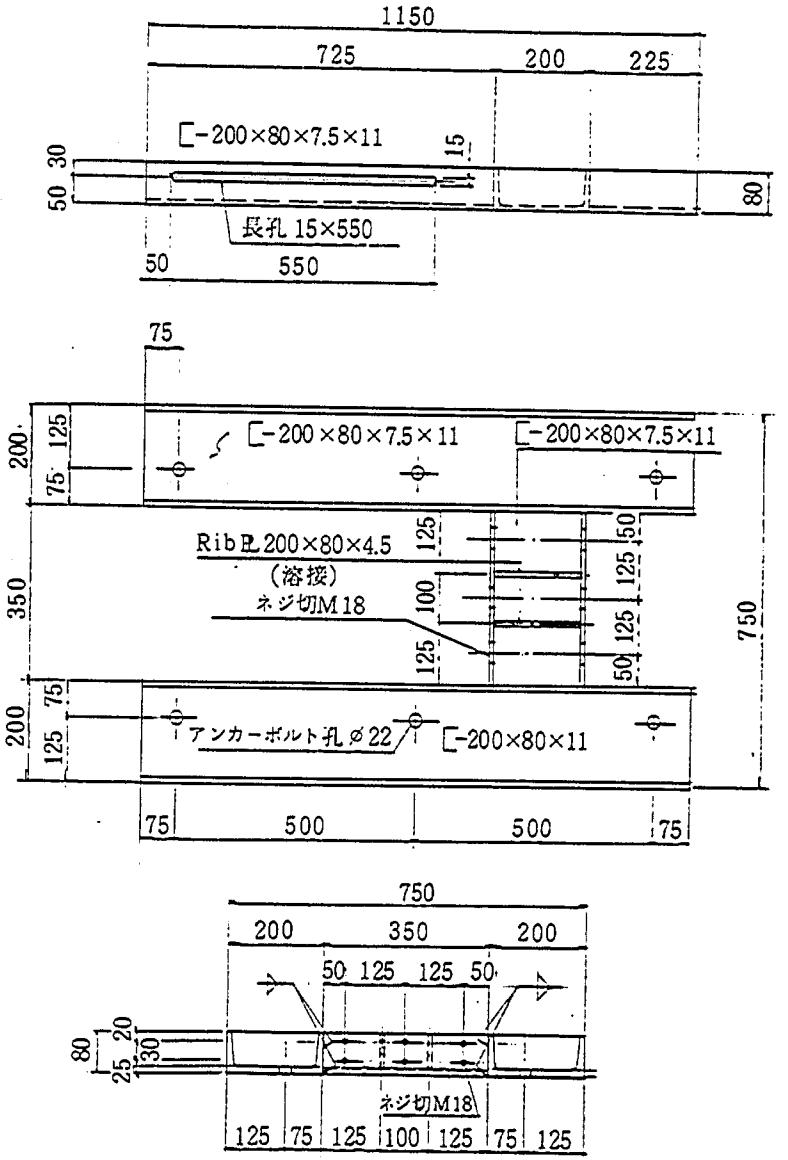
付図 5.2 上部構造詳細図およびダンパー金具詳細図

梁，脚柱，詳細図



梁，脚柱　　3体
ボルト類はフーチング部で計上

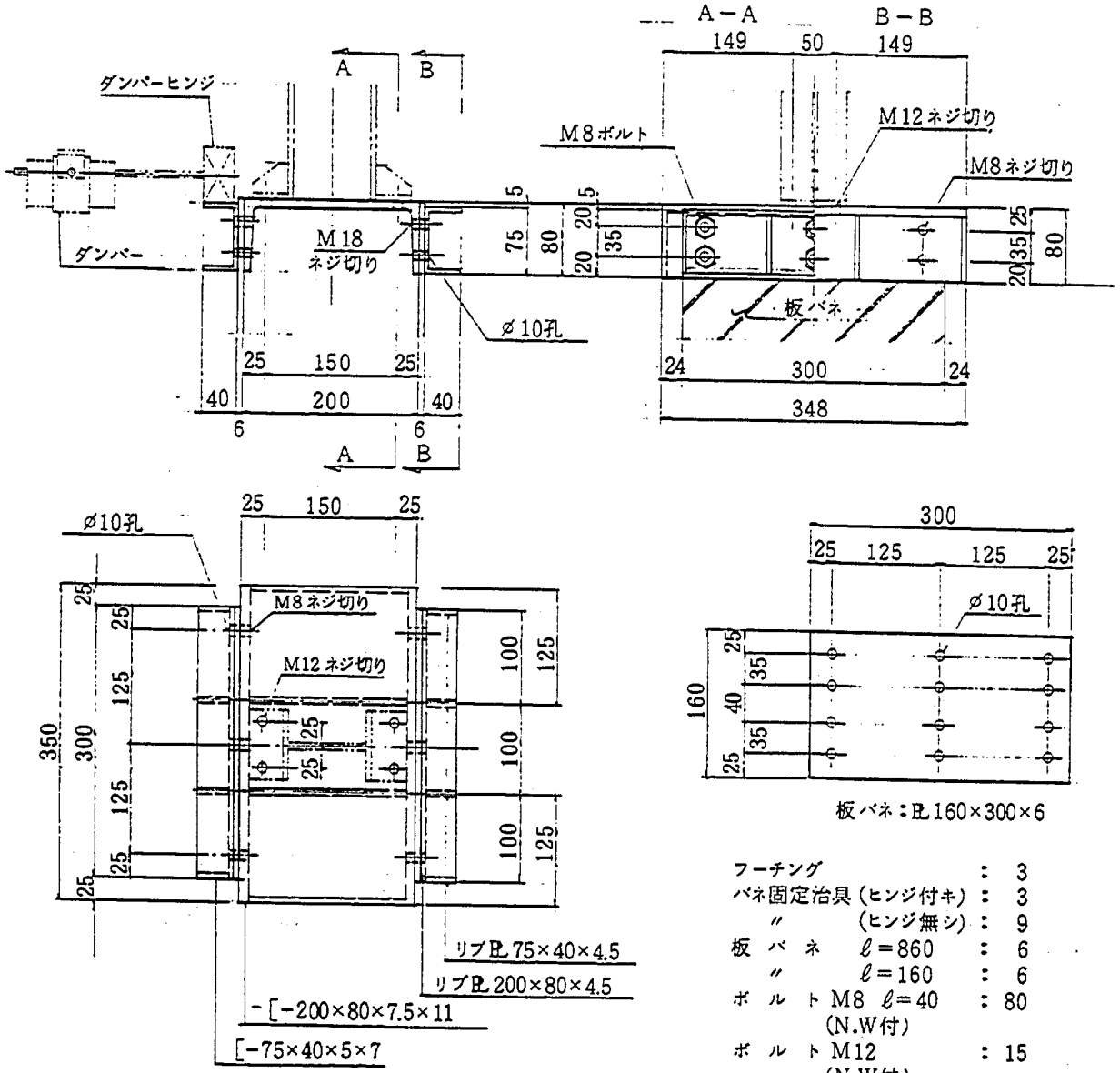
下端フレーム詳細図



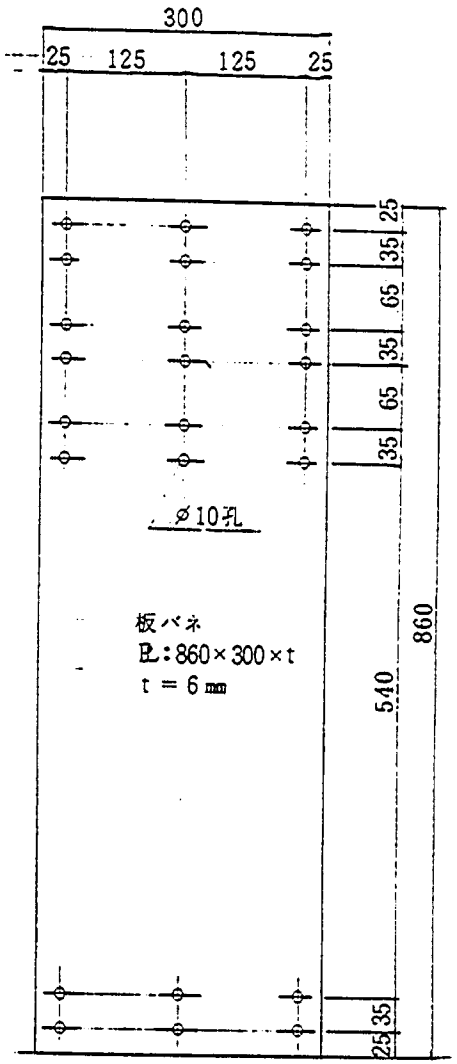
下端フレーム　　3体
ボルト類及びバネ固定治具はフーチング部で計上

付図 5.3　橋脚柱詳細図および下端フレーム詳細図

フーチング，板ばね固定治具詳細図



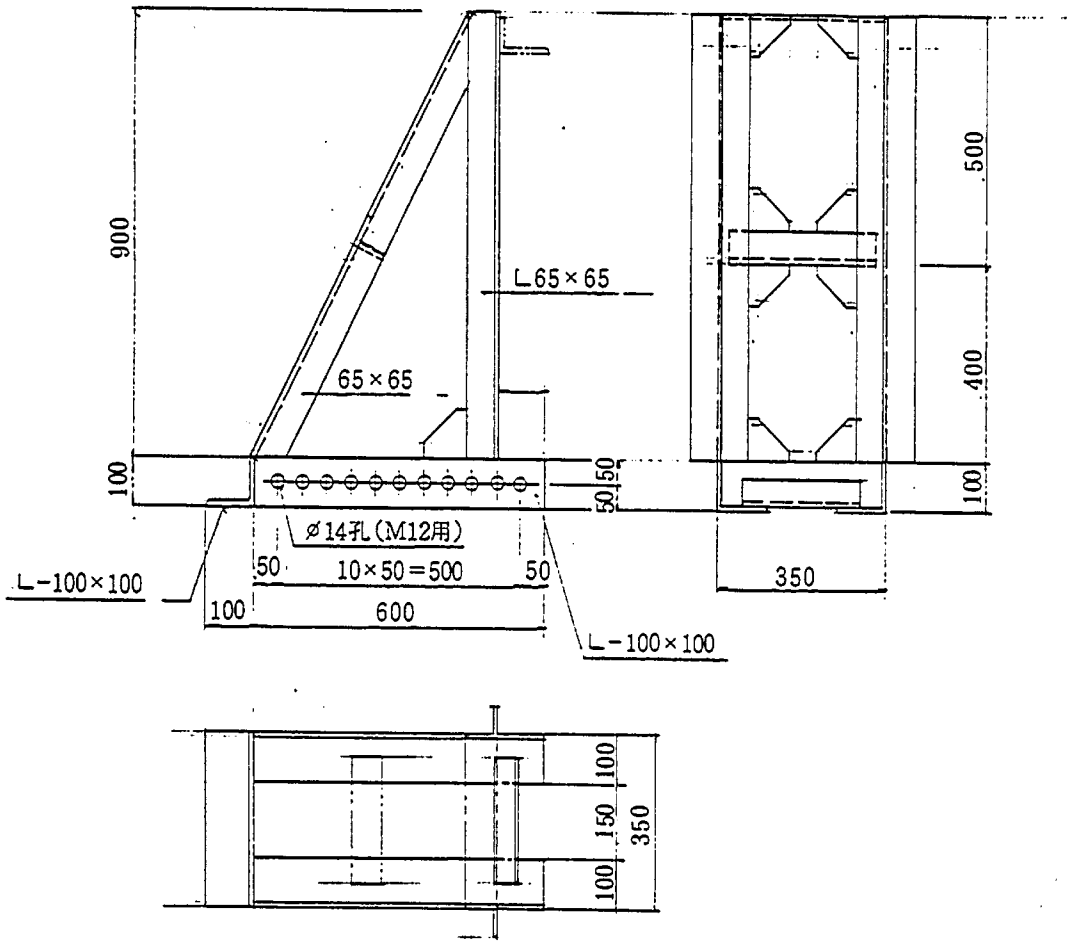
板ばね詳細図



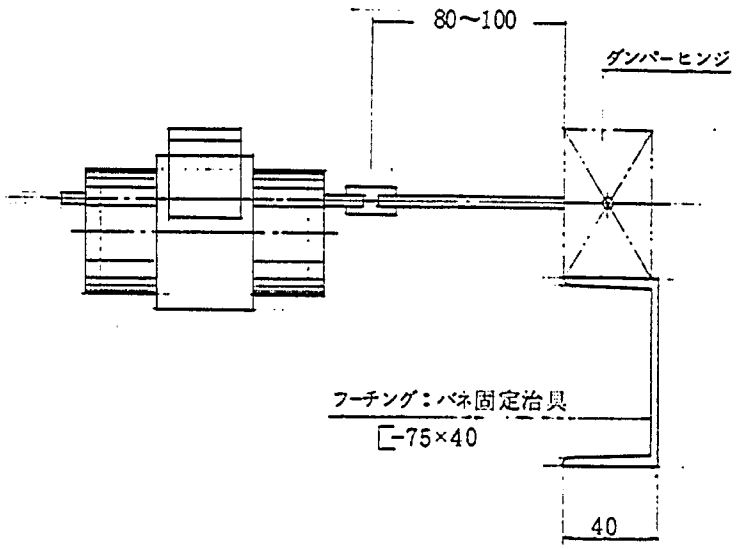
フーチング	：	3
バネ固定治具（ヒンジ付キ）	：	3
〃　（ヒンジ無シ）	：	9
板バネ　ℓ＝860	：	6
〃　ℓ＝160	：	6
ボルト M8　ℓ＝40 (N.W付)	：	80
ボルト M12 (N.W付)	：	15
ダンパーヒンジ	：	3

付図 5.4　フーチング，板ばね固定治具詳細図および板ばね詳細図

ダンパー支柱詳細図



ダンパーヒンジ



ダンパー支柱	3
ボルト M 12	36

付図 5.5　ダンパー支柱詳細図

付 属 資 料 6

実 験 写 真

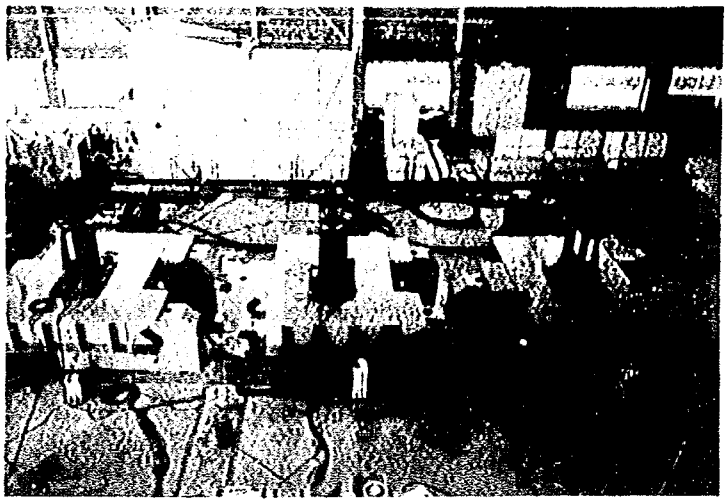


写真1　全　体　状　況

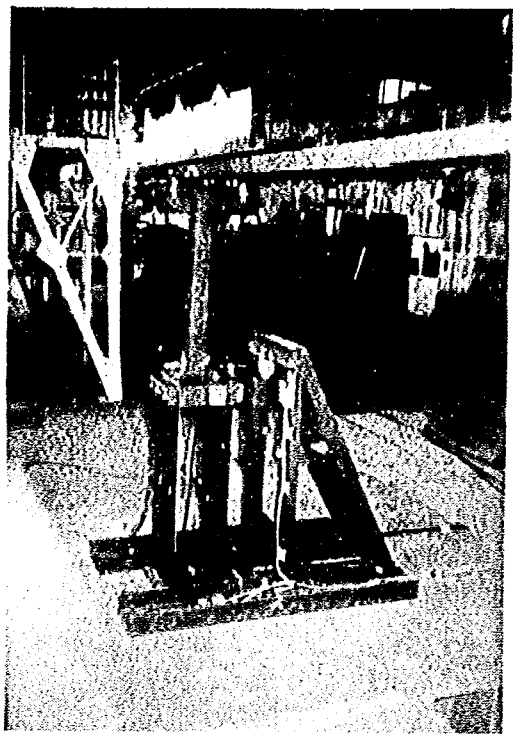


写真3　橋　　脚

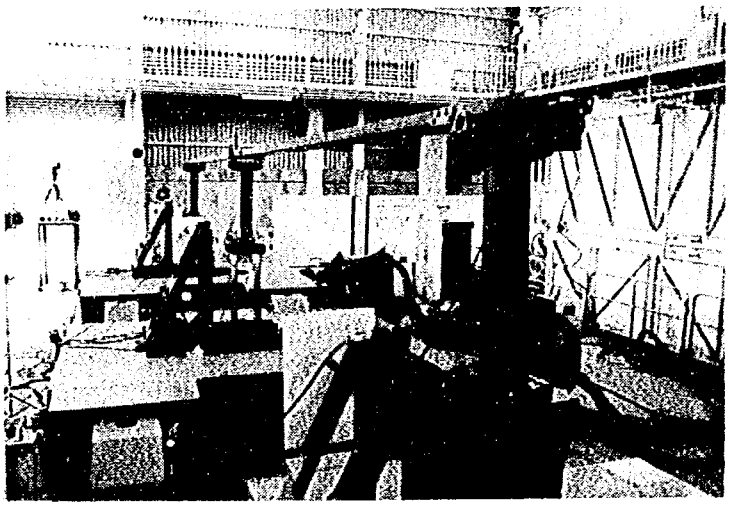


写真2　全　体　状　況

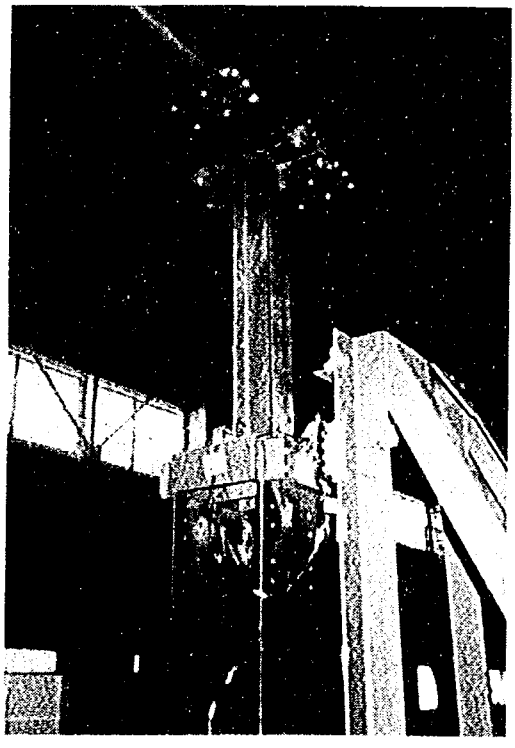


写真4　橋脚および上部工

写真 5　ダンパーの設置状況

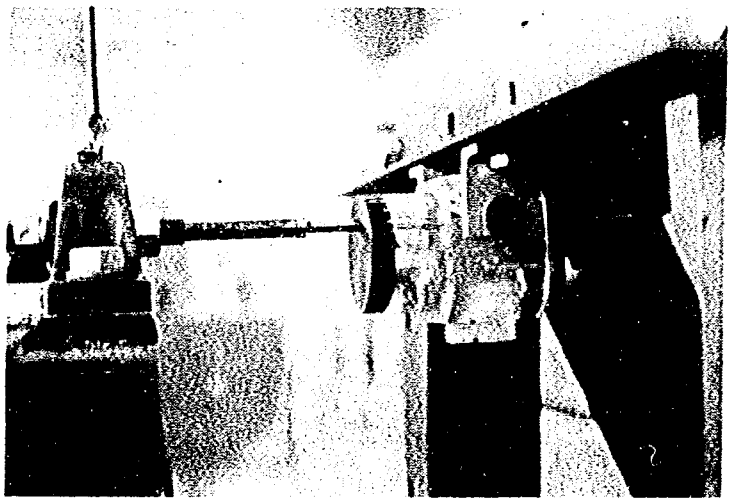


写真 6　ダ　ン　パ　ー

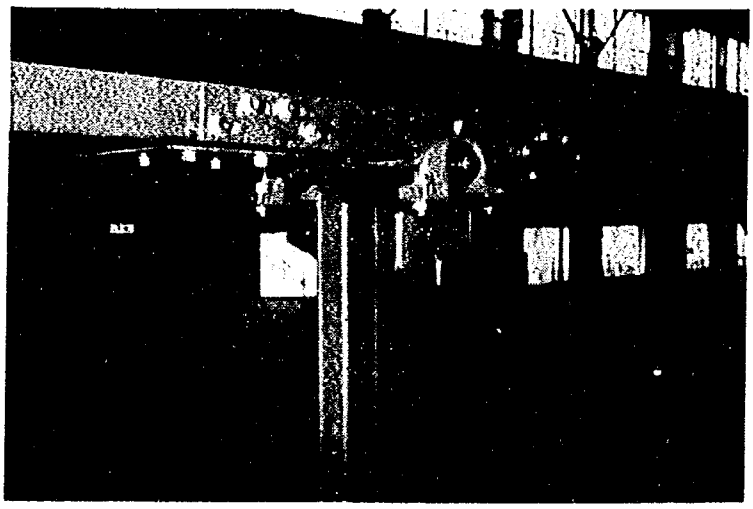


写真 7　支承（鉛直面内の回転のみ可）

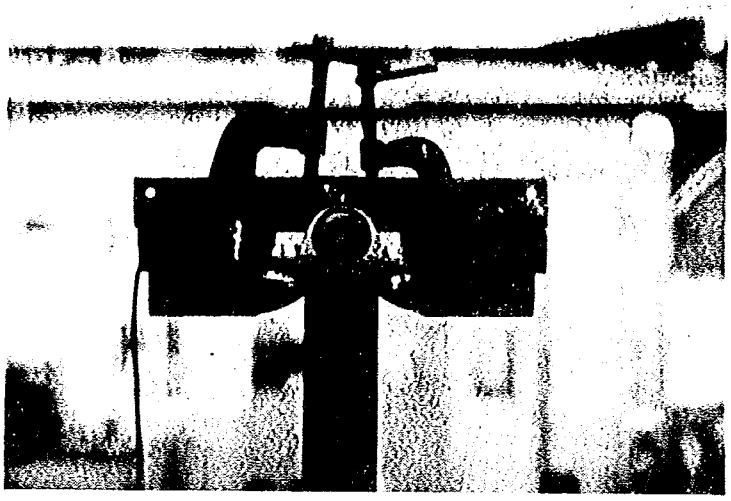


写真 8　橋脚天端のカウンターウェイト
（上部工 1 径間相当）

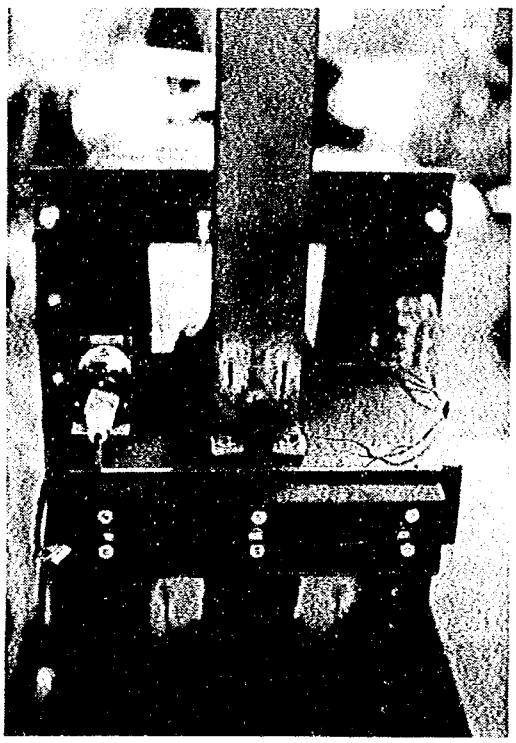


写真 9　フーチング上の加速度計，
橋脚および板ばねのひずみ
ゲージ

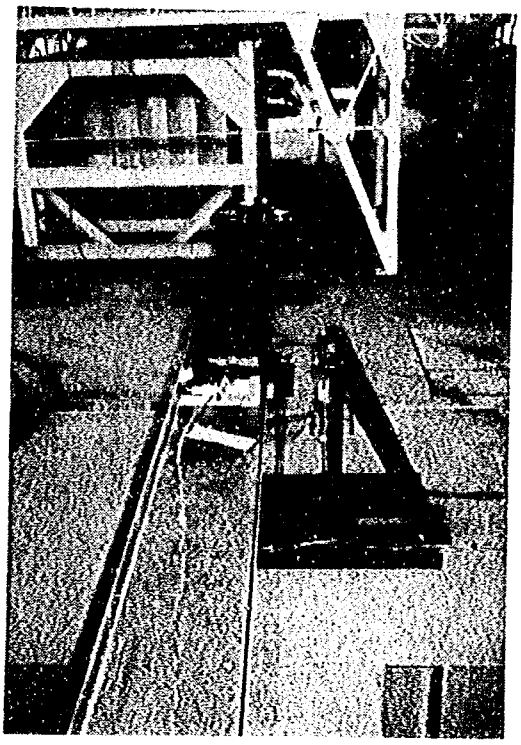


写真10　橋脚天端の加速度計

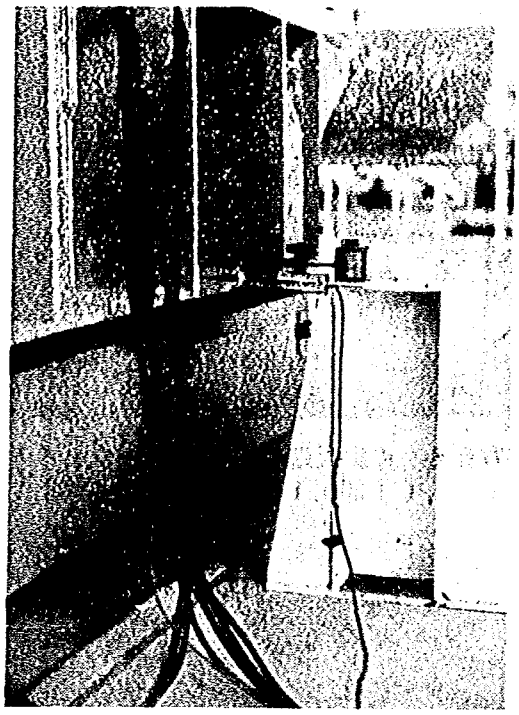


写真11　振動台用変位計

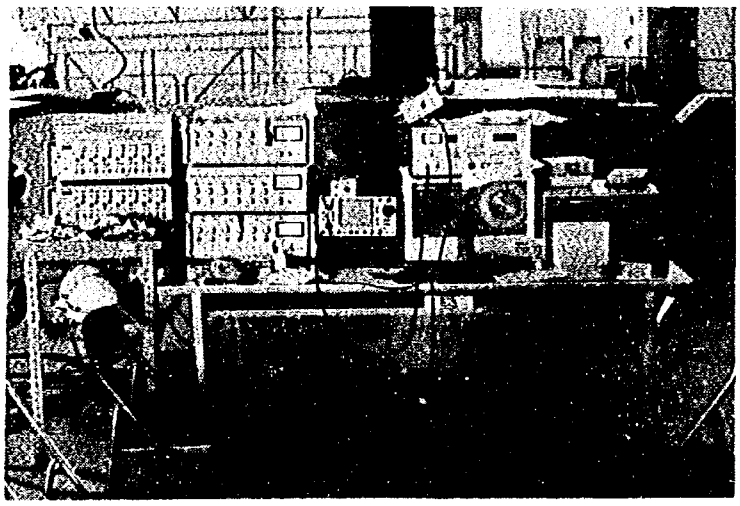


写真12　アンプおよびデータレコーダー

2径間連続高架橋に及ぼす入力地震動の影響に関する模型振動実験

ISSN0386－5878
土研資料第2422号
昭和62年1月(1987)
佐々木　康　　田村　敬一
相沢　興

要　旨　本資料は，2径間連続高架橋模型を用いて，正弦波および実測地震波による加振実験を行い，連続橋の地震時挙動に及ぼす入力地震動の影響について検討した結果をとりまとめたものである。

キーワード：連続橋，耐震設計，入力地震動，模型振動実験

郵便はがき

40円切手をはって下さい

305-□□

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地
建設省土木研究所
振動研究室御中

No.194

No. 194

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2422号　　部

上記のとおり受領しました。

所　　属(住所)

氏　名　　印

土木研究所資料 第2422号

○ 2径間連続高架橋に及ぼす入力地震動の影響に関する模型振動実験