

I S S N 0386—5878

土木研究所資料第2671号

03

土 木 研 究 所 資 料

新綾部大橋振動実験報告書

昭和63年10月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

Copyright ©(1988)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、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

新綾部大橋振動実験報告書

構造研究室 室 長 横 山 功 一

主任研究員 佐 藤 弘 史

永 原 隆^{*}

東久保 正 徳

要 旨

PC斜張橋の構造特性の調査を目的として、一般国道173号新綾部大橋（3径間連続PC斜張橋，51.5m＋110.0m＋77.5m）において起振機実験ならびに常時微動の計測を行なった。その結果より固有振動数，固有振動モード，構造減衰を求めた。また起振機加振時にはケーブルの振動が観測された。

キーワード：PC斜張橋，起振機振動実験，構造減衰，新綾部大橋

^{*}現，建設省四国地方建設局富郷ダム工事事務所 工務課

ま え が き

近年、斜張橋は急速な進歩をとげ、比較的支間の長い長大橋梁から横断歩道橋に至るまで、幅広い範囲の橋梁形式として使用されるようになってきている。斜張橋が急増したことは、それが経済性・架設の容易さ・美観など、多くの要求に応じるものであることを物語っており、この様な利点が認識されるに従って、さらに多くの建設が計画されることが予想される。

一般に、斜張橋は、吊橋と同様フレキシブルな橋梁であり、その耐風安定性には十分な配慮がなされる必要がある。橋梁の耐風性を評価する場合、風洞実験等を通じて得られる空力特性に加え、構造特性（固有振動数、構造減衰）も重要な因子となる。特に構造減衰は応答に直接影響を及ぼす重要な因子であるが、現段階では数値解析によって算定することが不可能であるため、実橋を対象とした振動実験に頼らざるをえないのが現状である。

吊橋、鋼斜張橋のように以前から強風に対する安全性について検討されてきた橋種については、実橋での振動実験例も多く、データの蓄積も進んでいる。また長大化の進んでいる箱桁橋に対しても、土木研究所では実橋振動試験を3ケ年にわたって行い、箱桁橋の構造特性データの収集を図ってきた。

近年我が国においてP C斜張橋が計画あるいは施工される機会が増えてきている。一般にP C斜張橋は吊橋、鋼斜張橋に比べて構造減衰が大きいものと仮定でき、また全体の剛性が高いこと及び主桁の橋軸方向単位長さ当たり重量が大きい上に塔の重量も大きなことから制振効果が期待できるなど耐風安定性にすぐれていると予測される。しかし我が国においてはまだ前例に乏しい構造形式であり構造特性に関する既往のデータも不十分であることから、今年度はP C斜張橋の実橋振動試験を行い構造特性データを収集することとした。

実験は、一般国道173号新綾部大橋（仮称は、新丹波大橋であった）を対象とし、起振機を用いた加振実験と常時微動による不規則振動の計測（主桁、主塔、一部のケーブル）を行い、固有振動数、振動モード、構造減衰を求めた。実験は、構造研究室と耐震研究室が担当した。構造研究室は鉛直およびねじれ振動を、耐震研究室は水平振動を主な対象とした。

本報告書は、構造研究室が分担した振動実験で得られた成果をとりまとめたものである。

目 次

1. 振動実験の概要	1
1.1 振動実験の目的	1
1.2 新綾部大橋の概要	1
1.3 耐風性に関する検討	2
1.4 振動実験の概要	8
2. 振動実験	9
2.1 実験項目	9
2.2 加振方法	9
2.3 計測方法	11
2.4 実験工程	16
3. 固有振動数の計算	17
3.1 解析モデル	17
3.2 解析の構造諸元	17
3.3 解析結果	17
3.4 追加計算	26
4. 実験結果の整理	31
4.1 実験結果の整理方法	31
4.2 共振試験結果	34
4.3 自由減衰試験結果	43
4.4 常時微動測定結果	43
5. 考察	58
5.1 振動の特徴	58
5.2 固有振動数	61
5.3 固有振動モード	62
5.4 構造減衰	65
6. まとめ	67
謝 辞	68
参考文献	69
参考資料	70
付属資料	71

1. 振動実験の概要

1.1 振動実験の目的

橋梁の耐風性を評価する場合には、断面の空力特性ばかりでなく、固有振動数、構造減衰といった構造特性を把握しておく必要がある。固有振動数については数値解析により精度よく求められることが知られているが、構造減衰については影響要因も多くかつ複雑であるため数値解析を行うのは困難である。したがって、従来より実橋において起振機等を用いて振動実験を行い¹⁾、直接的に構造減衰データを収集し、これらを取りまとめて設計基準等に反映するようにしている。

吊橋、鋼斜張橋のように以前から強風に対する安全性について検討されてきた橋種については、実橋での振動実験例も多く、データの蓄積も進んでいる。これに対してPC斜張橋は、我が国においてはまだ前例に乏しい構造形式であることから構造特性に関するデータが十分であるとは言い難い。しかしながらPC斜張橋は、最大支間が100 mさらには200 mを超えるような橋梁が計画あるいは施工されるようになり、中規模橋梁の一形式として広く使用される傾向を強めつつある。

このような事情から、PC斜張橋の振動特性（固有振動数、固有振動モード、構造減衰）を明らかにすることを目的とし、PC斜張橋の実橋における振動実験を行った。

1.2 新綾部大橋の概要

振動実験は、京都府が一般国道173号に建設中の新綾部大橋を対象とした。本橋の架橋位置を図-1.1に、一般図を図-1.2に、主要材料及びその数量を表-1.1に、全景写真を写真-1.1に示す。

本橋の主要諸元は以下のとおりである。

橋梁諸元

位 置	綾部市寺町～味方町
路 線 名	一般国道173号
道路規格	第3種第3級
設計速度	50km/h
事業主体	京都府
橋 格	1等橋
橋 長	391.75 m (その内、PC斜張橋部は239 m)
構造形式	上部工：3径間連続PC斜張橋 下部工：P ₃ 、P ₅ 橋脚（張出し式、直接基礎） P ₄ 、P ₆ 橋脚（壁式、直接基礎）
支 間 割	51.5 + 110.0 + 77.5 m
幅 員	9.75m (片側歩道2.5 m)
設計荷重	活荷重：TL-20, 雪荷重：100 kg/m ²
平面線形	直線

縦断勾配 4.2%直線

横断勾配 車道 1.5%直線, 歩道 2.0%直線

表-1.1 主要材料及びその数量

	材 料	仕 様	単 位	数 量
主 桁	コンクリート	$\sigma_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$	m ³	1690
	鉄 筋	S D30	t	235
	P C 鋼 材	S B P R B種2号 $\phi 32$, $\phi 26$ /S W P R 7 B12T 12.7 / S W P R 1 12 $\phi 7$	t	110
主 塔	コンクリート	$\sigma_{ck} = 270 \text{ kg/cm}^2$	m ³	660
	鉄 筋	S D30	t	41
	鉄 骨	S S41	t	36
斜 材	P C 鋼 材	S B P R B種2号 $\phi 32$		

1.3 耐風性に関する検討

新綾部大橋の建設に先立ち、京都大学工学部において本橋の耐風安定性を検討するために風洞実験が行われた²⁾。その結果を抜粋して以下に示す。

第1段階として基本断面(断面1)を含む6断面(図-1.3)を対象として、その空力特性を調査した。すなわち、実橋所要値より質量及び構造減衰を小さくした二次元剛体模型を用いて風洞実験を行い、断面形状固有の空力特性を調べると共に各断面の応答特性を比較した。たわみ、ねじれ渦励振の発生風速域はそれぞれ実風速換算で、たわみ15~25m/s、ねじれ65~85m/sでほとんど同一であった。新綾部大橋主桁断面のねじれ固有振動数は5.25Hzと比較的高く、ねじれ振動は実質上問題とはならないと判断されたため、耐風安定性の優劣はたわみ渦励振最大応答振幅値をもとに評価を行った。その結果、最大応答振幅値は断面2<断面4=断面1=断面5<断面3<断面6となり、断面2が最も耐風性に優れたものと結論づけられた。

第2段階では、第1段階の結果をもとに基本断面である断面1と耐風性に優れた断面2を対象として、実橋との相似条件を満足させた二次元剛体模型でその応答特性に検討を加えた。断面1の迎角+5°、+7°及び断面2の迎角+7°では実風速約50m/s以上でたわみの大振幅振動が発生したが、迎角が7°と大きいことおよび風速が高いことから、耐風性の面からすれば断面2は良好であることが確認された。

第3段階では、断面1と断面2の三次元弾性模型を用い、一様流中及び格子乱流中における空力特性に関する実験を行った。

一様流中における両断面の渦励振応答は、ともに質量ならびに構造減衰が大きいために迎角0°においてはほぼ完全に抑制されたが、高風速域においてたわみ最低次モードが卓越した不規則な応答が発現した。この応答振幅は側径間より中央径間の方が大きく、迎角0°から5°になるとおよそ倍増している。断面1と断面2を比較すると、両迎角(0°, 5°)ともに、断面1での応答が断面2より大きかった。

格子乱流中における応答は、断面1, 2とも一様流中と同様に、明確な渦励振応答は認められないが、高

風速域におけるたわみ不規則振動は気流の乱れ強さの増加とともに増大した。

以上の結果により、桁断面の形状としては断面2が最も耐風性に優れていると考えられた。新綾部大橋の桁断面として断面2の逆台形断面を使用した場合、鉛直たわみ最低次モードの渦励振発生風速は約20m/sであり、構造減衰を対数減衰率 δ で0.02と小さめに見積り、さらに迎角を 5° とした場合の渦励振最大応答振幅は11cmと推定され、 δ を0.05としたときにはほぼ1cmと推定されることから、本橋の渦励振に対する特性は比較的良好と考えられた。

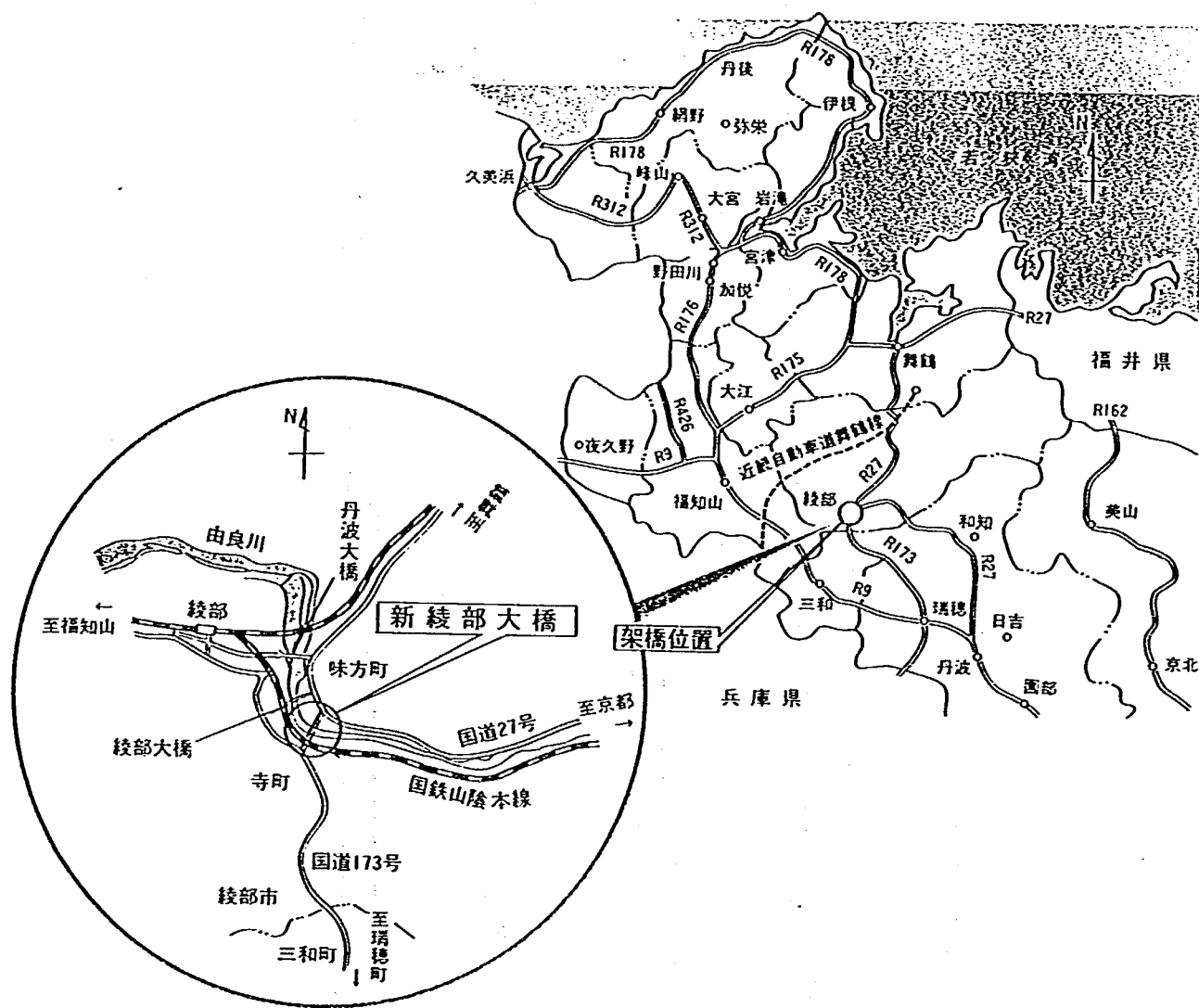
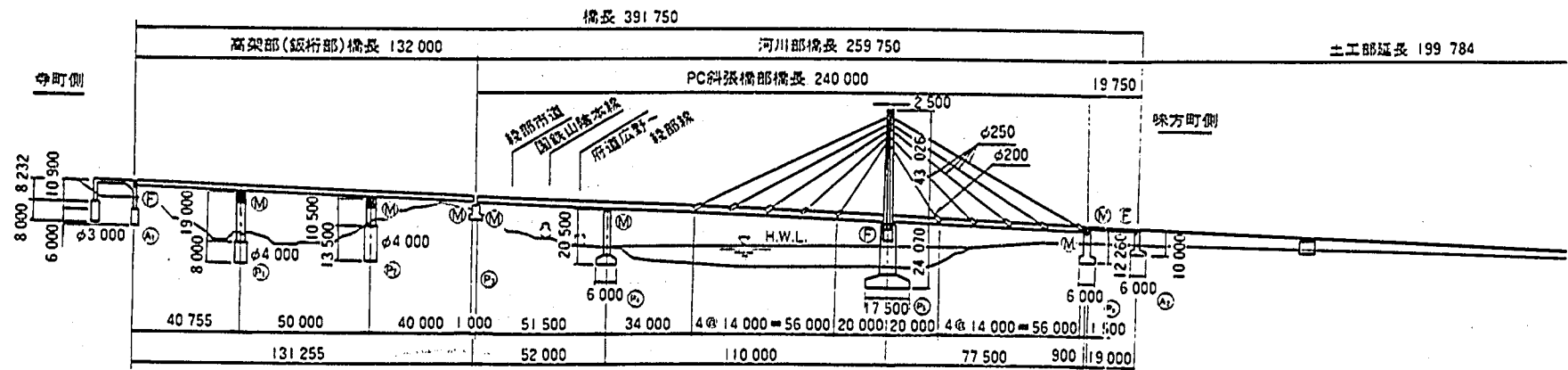


図-1.1 新綾部大橋の架橋位置

側面図



平面図

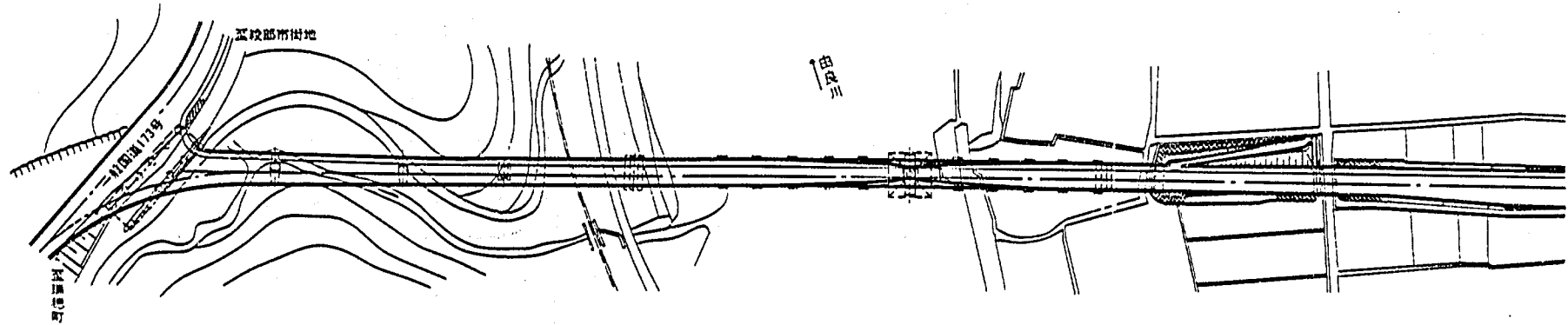
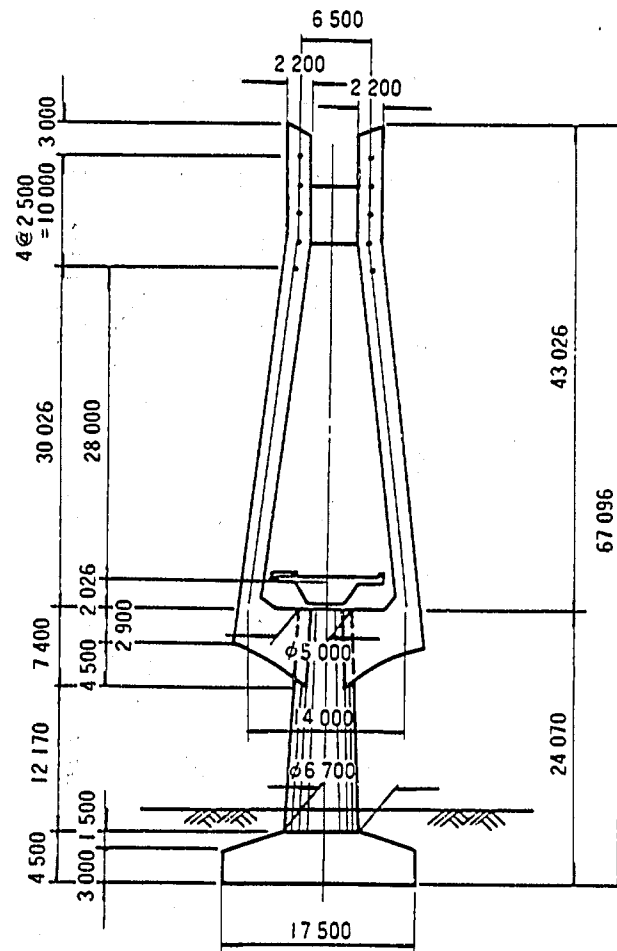


図-1.2 新綾部大橋一般図(その1)

主塔断面图



PC斜張橋部

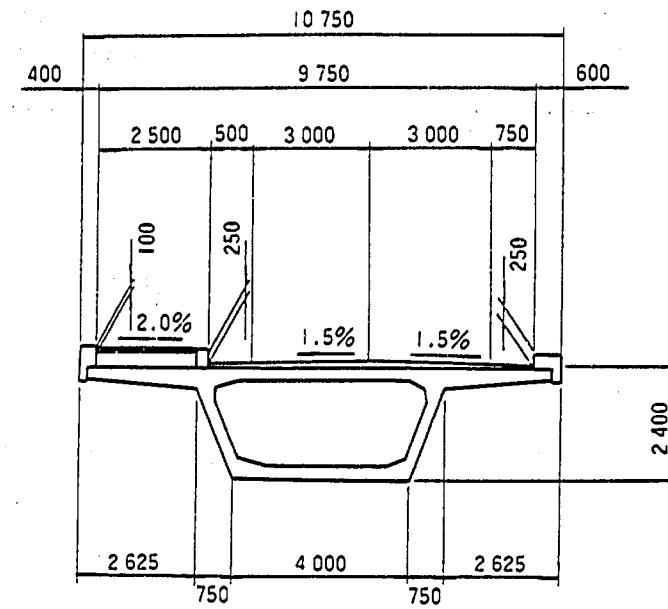
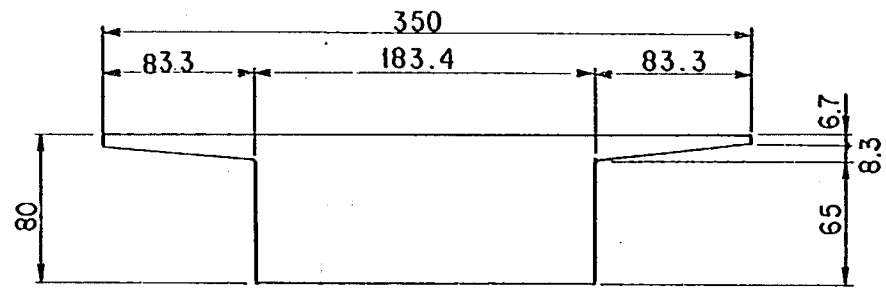
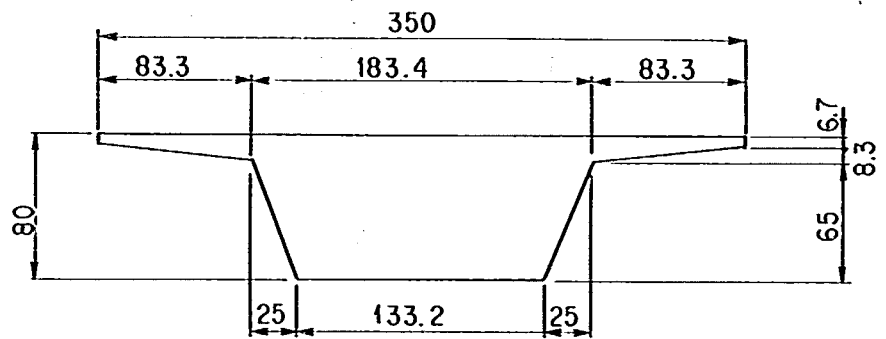


図-1.2 新綾部大橋一般図(その2)

断 面 1



断 面 2



断 面 3

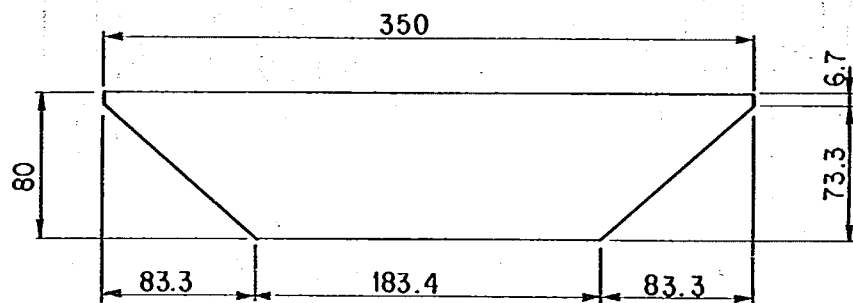
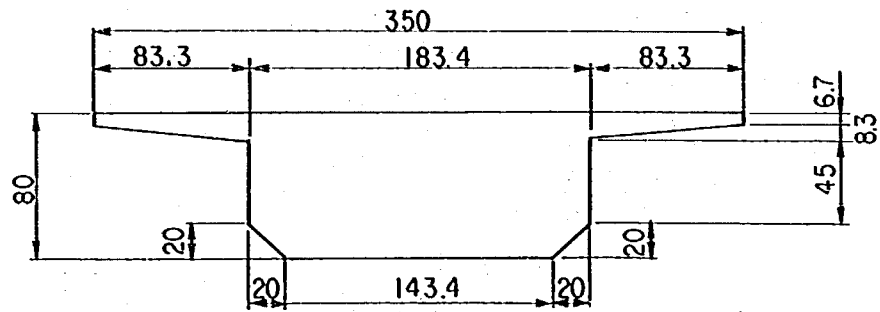
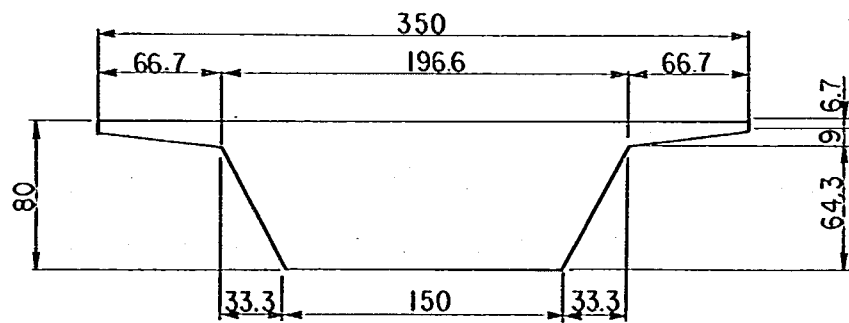


図-1.3 二次元剛体模型断面図 (その1)

断面 4



断面 5



断面 6

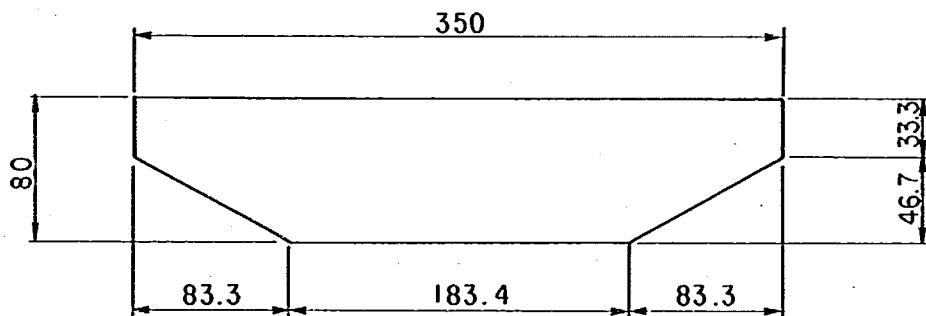
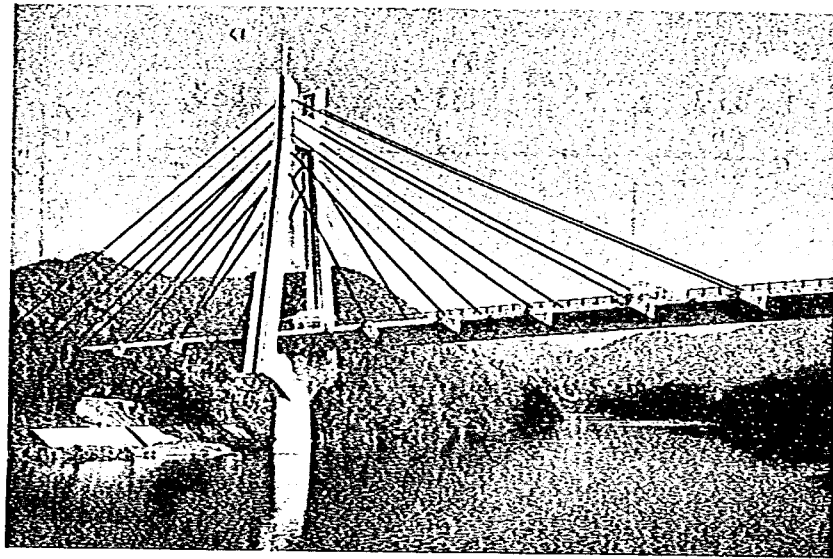


図-1.3 二次元剛体模型断面図 (その2)



写真－1.1 新綾部大橋全景

1.4 振動実験の概要

実験は起振機実験と常時微動測定から構成されており、それぞれの測定結果より鉛直たわみ振動（1～4次）、ねじれ振動（1～2次）の固有振動数、固有振動モード、構造減衰の算定を行った。

起振機加振時には、マルチケーブル斜張橋の特徴的な現象と考えられるケーブルの振動が観測された。これは橋桁と同じ振動数でケーブルが大振幅で振動するもので、このために起振機には余力があってもケーブルの振幅が大きくなりすぎてそれ以上の加振を中止せざるを得ず、実験は微小振幅の範囲にとどまった。

得られた固有振動数を数値解析と比較したが、たわみ1次振動に関して特に適合性が悪かった。また構造減衰は通常PC斜張橋では対数減衰率 $\delta = 0.05$ 程度が見込まれているのに対して鉛直たわみ1，2次、ねじれ1，2次で $\delta = 0.02$ 以下の小さな値にとどまった。

2. 振動実験計画

2.1 実験項目

1) 起振機実験

起振機を用いて鉛直方向及びねじれの加振を行い、モード毎（鉛直たわみ1次、2次、3次、4次及びねじれ1次、2次）に共振試験、自由減衰試験を行って以下の項目に関する計測を行うものとする。

① 共振曲線

固有振動数を中心としたある範囲の振動数で加振を行い、その時の応答を測定し共振曲線を求める。

② 固有振動数

共振曲線より加速度計の応答振幅が極大値を示す固有振動数を求める。

③ 固有振動モード形状

固有振動数で加振し、各測定点（橋桁及び主塔）の同時刻応答より固有振動モード形状を求める。

④ 構造減衰

固有振動数で加振した後に加振力を0とし、自由減衰波形を計測して構造減衰を求める。

2) 常時微動測定

自然風による不規則振動（常時微動）を計測する。計測は起振機を停止した昼間12時ごろに1時間程度連続で行う。

2.2 加振方法

1) 起振機

加振には、当研究所所有の15ton 2連式起振機を用いた。この起振機は、2個の不平衡重錘を逆方向に回転させることにより遠心力を鉛直一方向の加振力に変換する方式のものであり、2台の同性能の起振機がシャフトを介して連絡されており、位相を変えることによって、鉛直たわみ振動ばかりでなく、ねじれ振動も発生させることができる。当起振機の仕様を表—2.1に、起振力図を図—2.1に示す。また、起振機の設置状況を写真—2.1および2.2に示す。振動により起振機が移動することを防ぐため及び橋梁に対して起振力を正確に伝えるため、起振機固定用のアンカーボルトを介して起振機を橋梁に設置した。

2) 起振機設置位置

起振機設置位置は図—2.2に示すように3ヶ所とし、設置位置1で鉛直たわみ3次、4次の、設置位置2で鉛直たわみ1次、ねじれ1次、2次の、設置位置3で鉛直たわみ2次の加振を行うこととした。ただし、実験では設置位置1において鉛直たわみ2次の振動モードも得られたため設置位置3での加振は確認試験となった。

このうち設置位置の決定は後述の固有値計算結果と、振動実験計画時における本橋の建設工事進行状況（内側3斜材分まで工事が進行していたため、その区間は起振機設置用のアンカーボルトが埋設できなかった）を考慮して行った。

表-2.1 15ton 2連式起振機仕様

最大起振力 (Hz)	最大起振力 (t)	振動数 f での 最大起振力(t)	使用モータ	寸 法 (m)
0.5 ~ 10.0	15.0	$0.15f^2$	AS-40HP	$0.78 \times 1.10 \times 0.70$

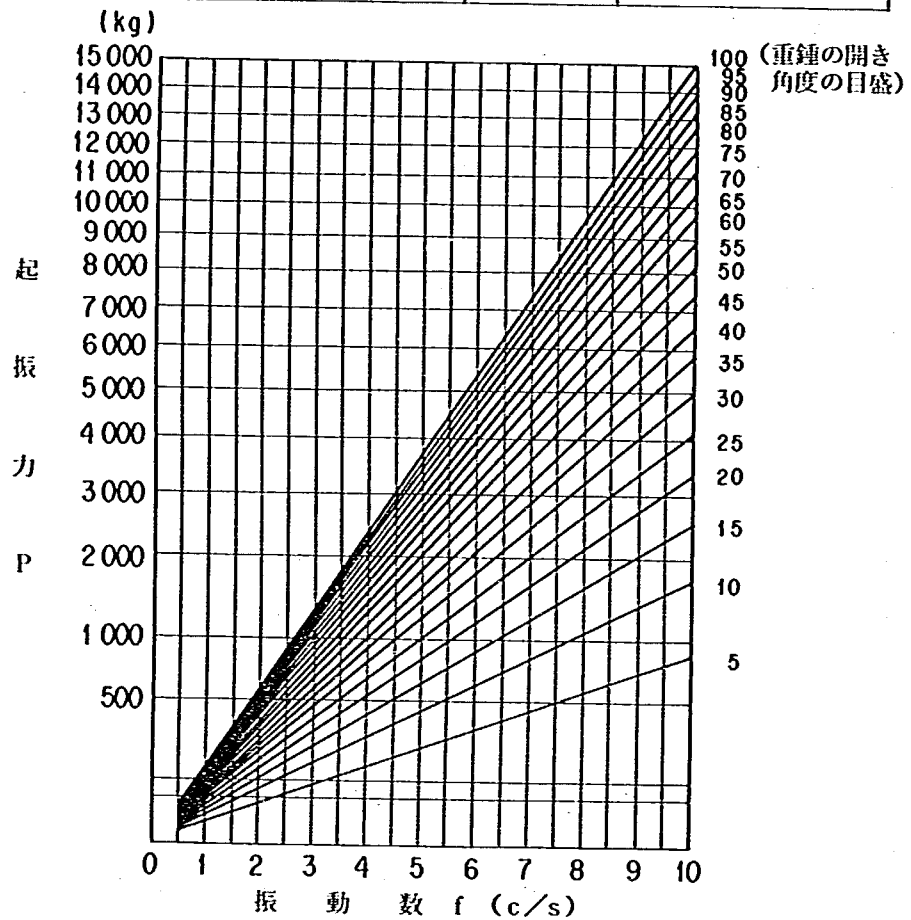


図-2.1 15ton 2連式起振機起振力図(1台の場合)

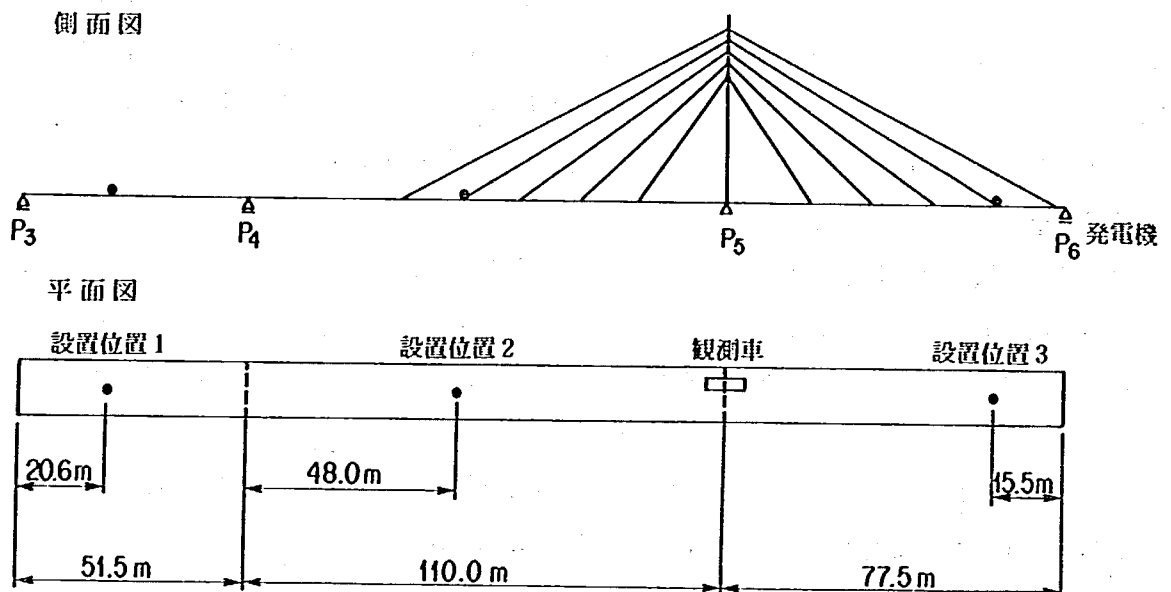
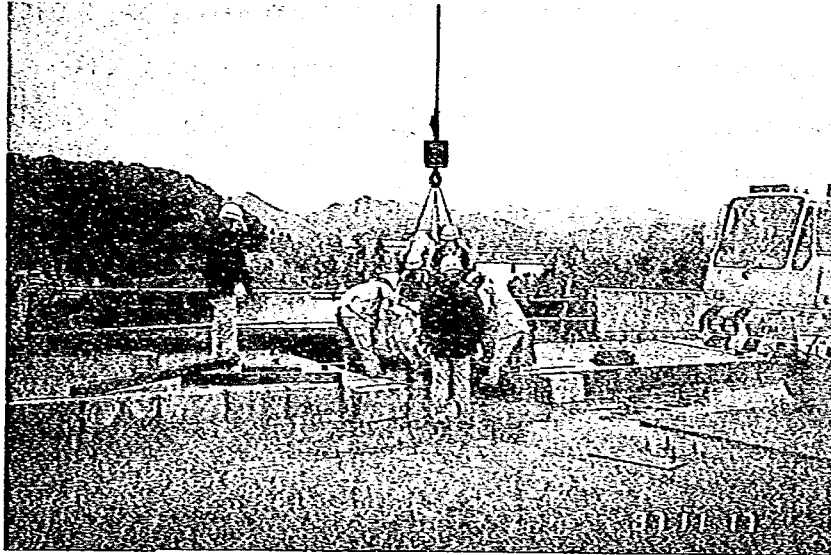
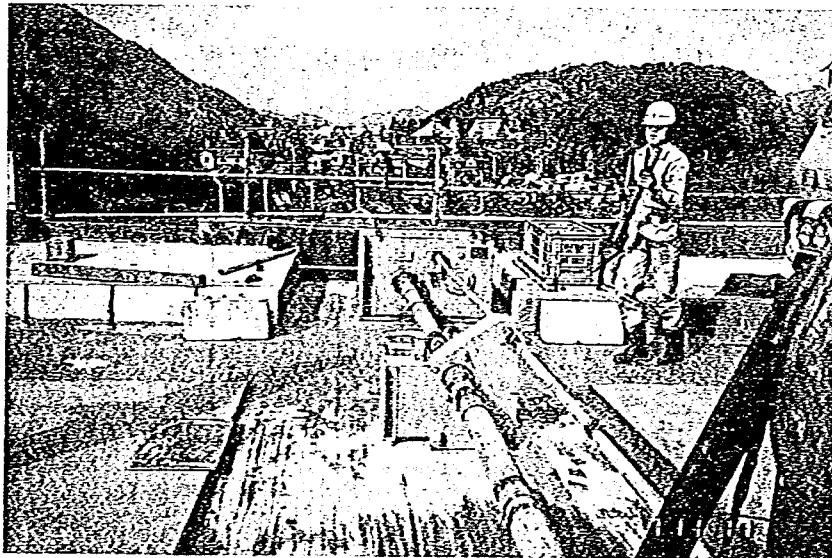


図-2.2 起振機設置位置図



写真－2.1 起振機設置状況(その1)



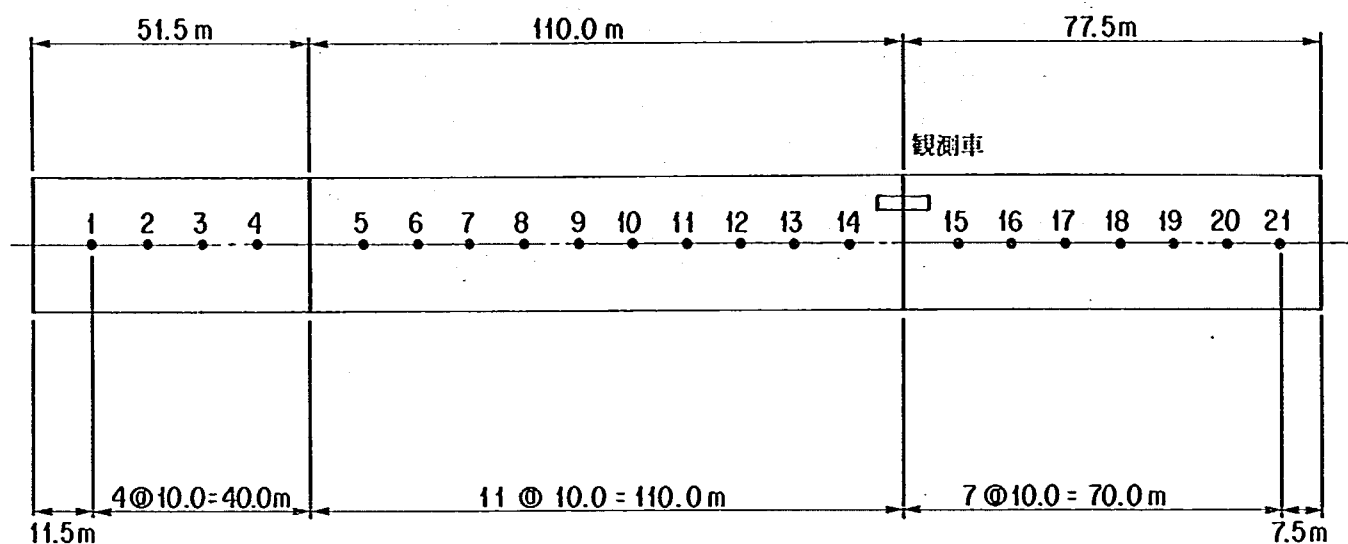
写真－2.2 起振機設置状況(その2)

2.3 計測方法

主桁、主塔及びケーブル（一部のモードの自由減衰時のみ）の振動はサーボ型加速度計を用いて測定した。主桁及び主塔のサーボ型加速度計の設置位置及び計測方向を図－2.3(1), (2)（鉛直たわみモード加振時），図－2.4(1), (2)（ねじれモード加振時）に示す。振動モードを計測するために、各スパンに加速度計を配置したが、ねじれ振動計測時には桁幅員両端に1台ずつ設置することとし、たわみ振動計測時には桁幅員中央

に1台設置した。

サーボ型加速度計によって得られたデータは全て観測車内に集められる。図-2.5に計測ブロック図を示す。データはデジタルデータレコーダに収録すると同時に代表的な箇所についてはペン書きレコーダとシンクロスコープでモニターした。写真-2.3～2.5に主桁、主塔のサーボ型加速度計設置状況を、写真-2.6に観測車内の計測状況を示す。



注：・はサーボ型加速度計を表す。計測の方向はすべて鉛直方向とする。

図-2.3(1) 鉛直たわみモード加振時の加速度計配置図(主桁上)

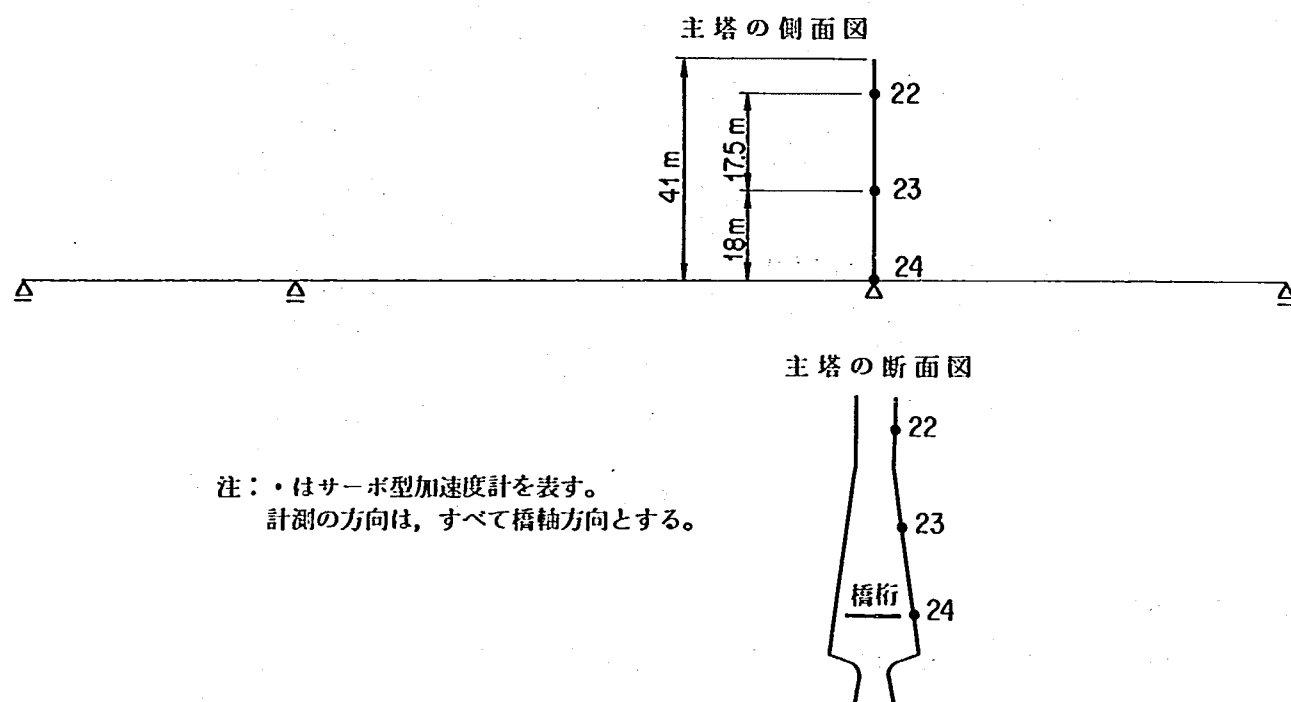
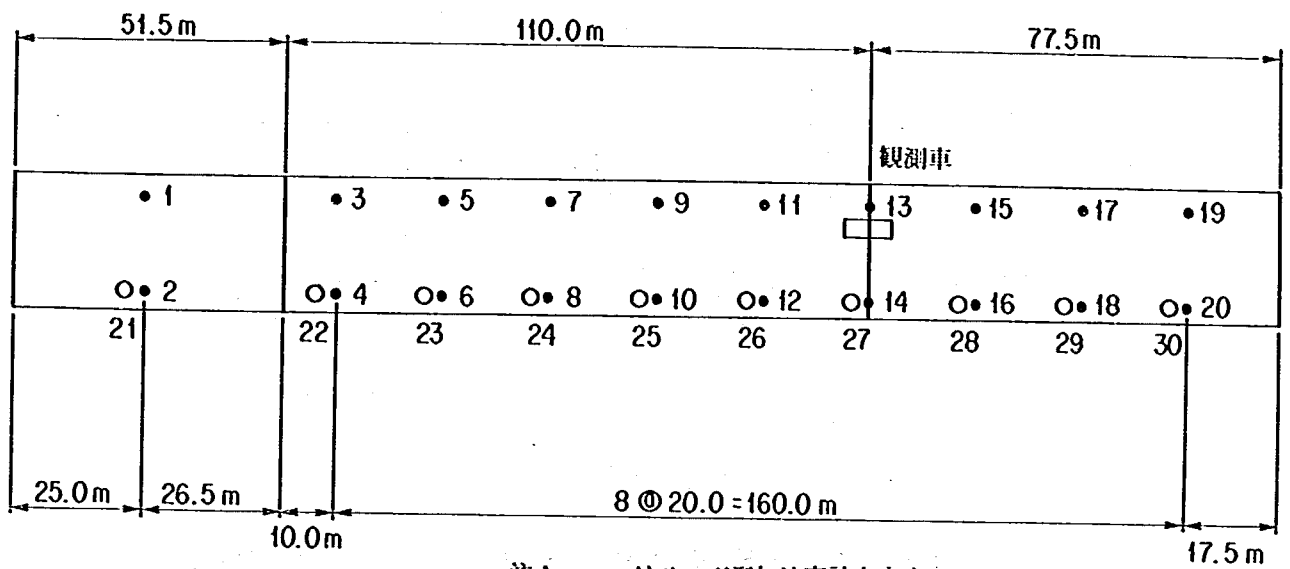
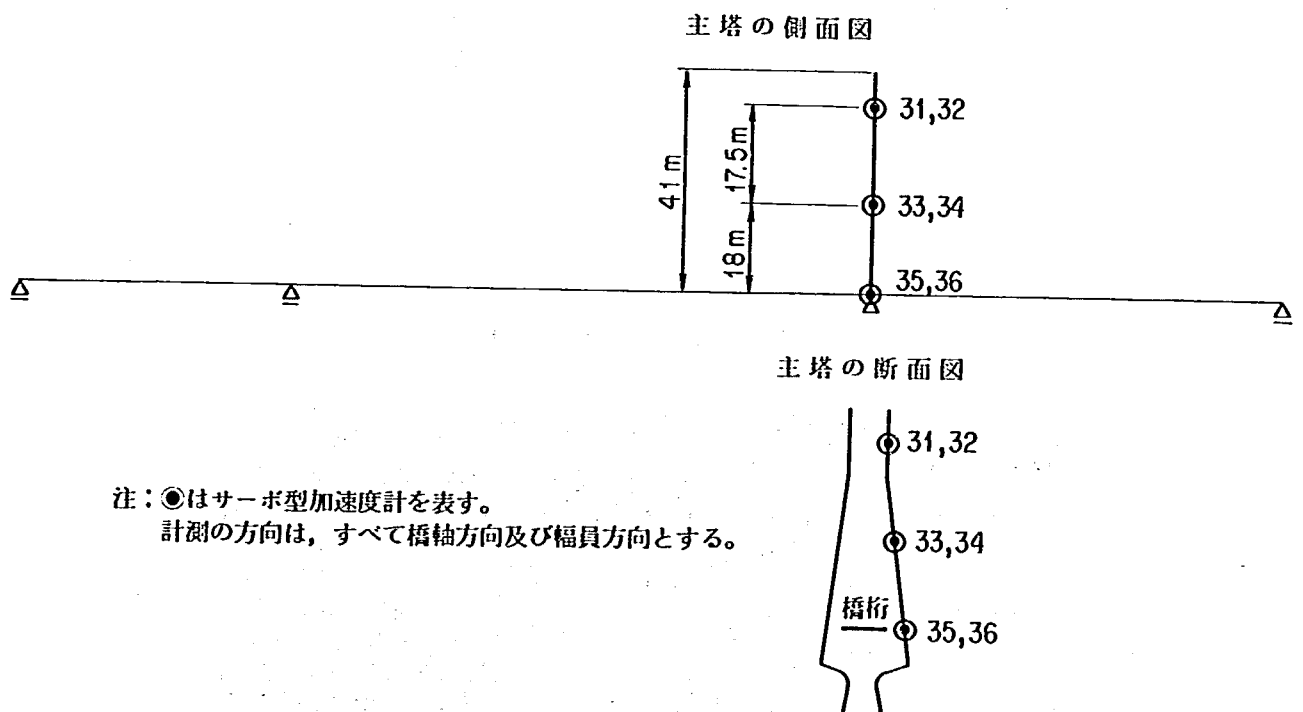


図-2.3(2) 鉛直たわみモード加振時の加速度計配置図(主塔)

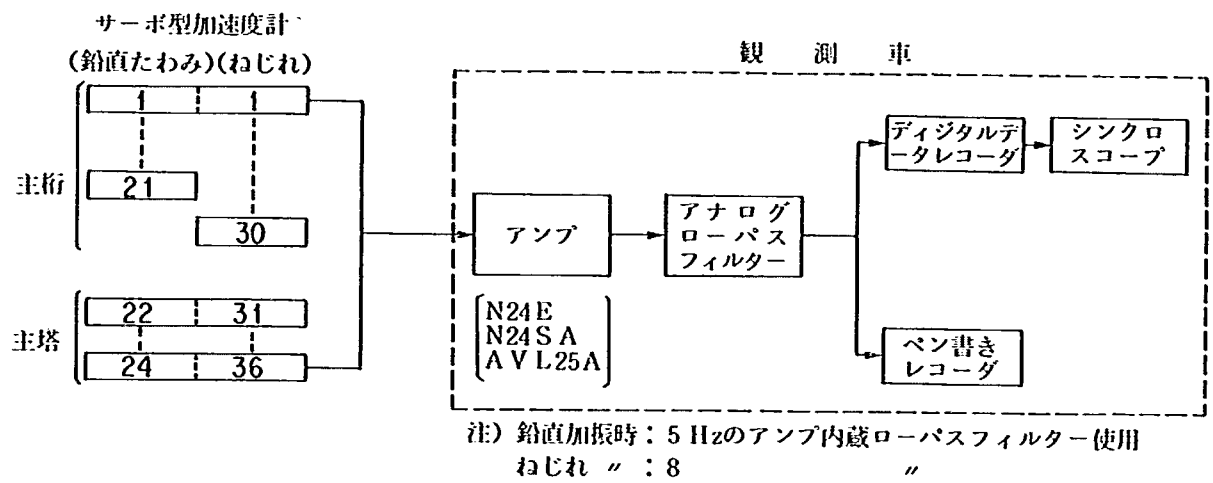


注：・，○はサーボ型加速度計を表す。
計測の方向は，・が鉛直方向，○が幅員方向とする。

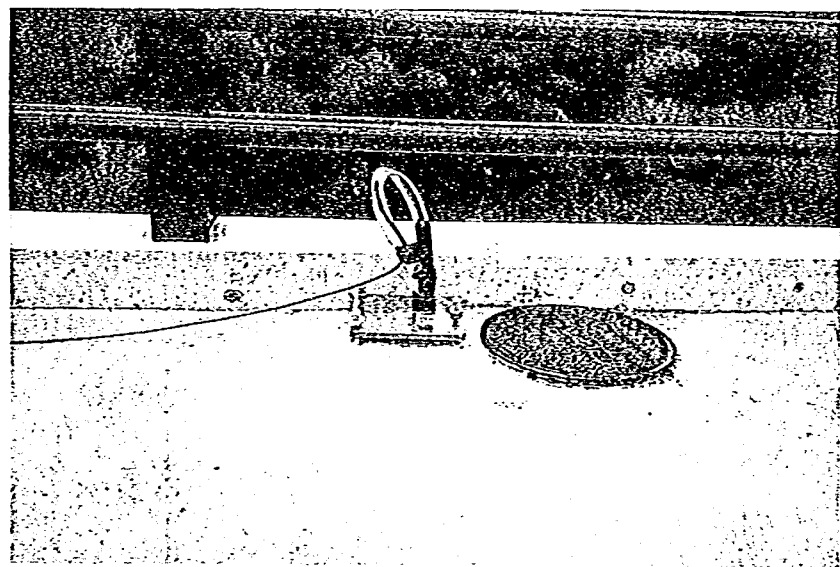
図一 2.4 (1) わじれモード加振時の加速度計配置図(主桁上)



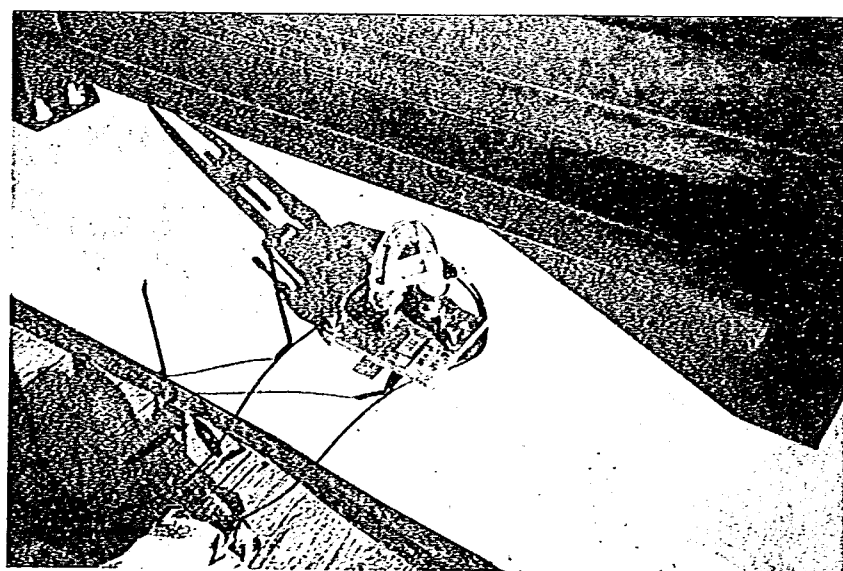
図一 2.4 (2) わじれモード加振時の加速度計配置図(主塔)



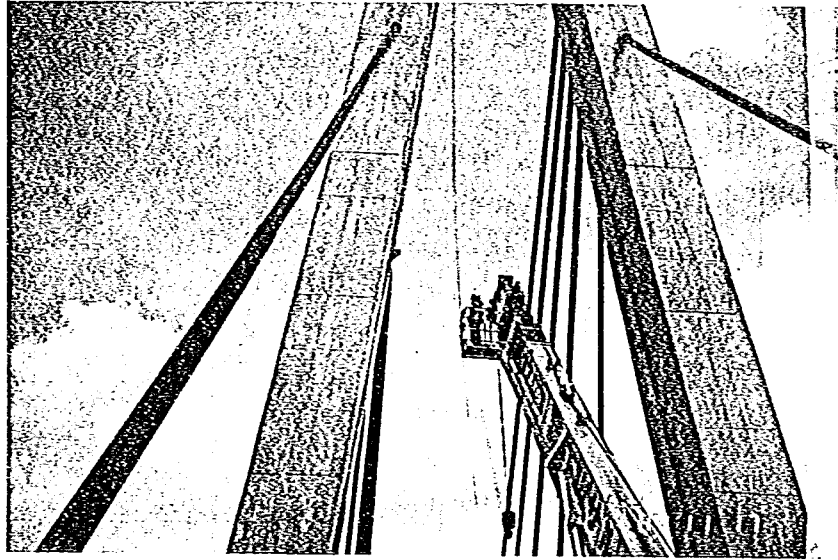
図一 2.5 計測ブロック図



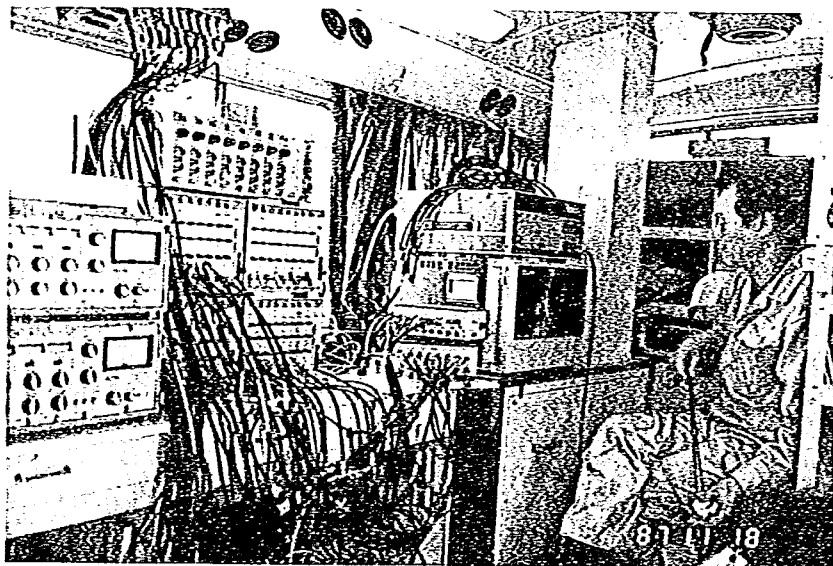
写真一 2.3 主桁の加速度計(1成分用)



写真一 2.4 主桁の加速度計(2成分用)



写真— 2.5 主塔の加速度計取付け



写真— 2.6 観測車内の計測状況

2.4 実験行程

実験は以下の行程で行った。

月 日	実 験 内 容
11 / 16 (月)	・作業員の移動、観測車、計測器、起振機の搬入 ・加速度計設置位置のマーキング ・計測器の配置
17 (火)	・起振機（設置位置1）の設置及び試運転 ・加速度計の設置 ・計測器の試験
18 (水)	・鉛直たわみ3次、4次共振試験 ・鉛直たわみ3次、4次自由減衰試験 ・起振機の移動（設置位置2）
19 (木)	・起振機の設置 ・鉛直たわみ1次、2次共振試験 ・鉛直たわみ1次、2次自由減衰試験 ・加速度計の盛り変え（ねじれ用） ・起振機の盛り変え（ねじれ用）
20 (金)	・常時微動計測 ・ねじれ1次、2次共振試験 ・ねじれ1次、2次自由減衰試験
21 (土)	・起振後の移動、設置（設置位置3）及び盛り変え（鉛直たわみ用） ・加速度計の盛り変え（鉛直たわみ用） ・鉛直たわみ3次共振試験 ・鉛直たわみ3次自由減衰試験 ・起振機、計測器の片付け ・作業員移動

3. 固有振動数の計算

3.1 解析モデル

図一3.1に、固有値計算に用いた解析モデルを示す。モデルは立体とし、支承条件は図に示す様に、格点①、⑥、⑨についてはX方向及びZ軸回りの回転を自由、その他を固定、格点⑧については、全自由度固定とした。又、格点⑧における桁と塔との結合条件はZ軸回りの回転だけを許すピンを原則としたが、塔基部支承の構造上、微小振幅の範囲ではある程度X軸回りの回転を許す可能性があることから、X軸回りの回転を許す条件での計算も追加した。

3.2 解析の構造条件

表一3.1に、格点座標及び慣性重量、又、表一3.2に部材の断面性状を示す。慣性重量は、実験時の橋梁の状況を考慮して設定した。尚、計算では質量の自由度を下記の通りとした。

イ) 鉛直たわみに着目した計算

塔→X方向

桁→X方向, Y方向

ロ) むねれに着目した計算

塔→Z方向

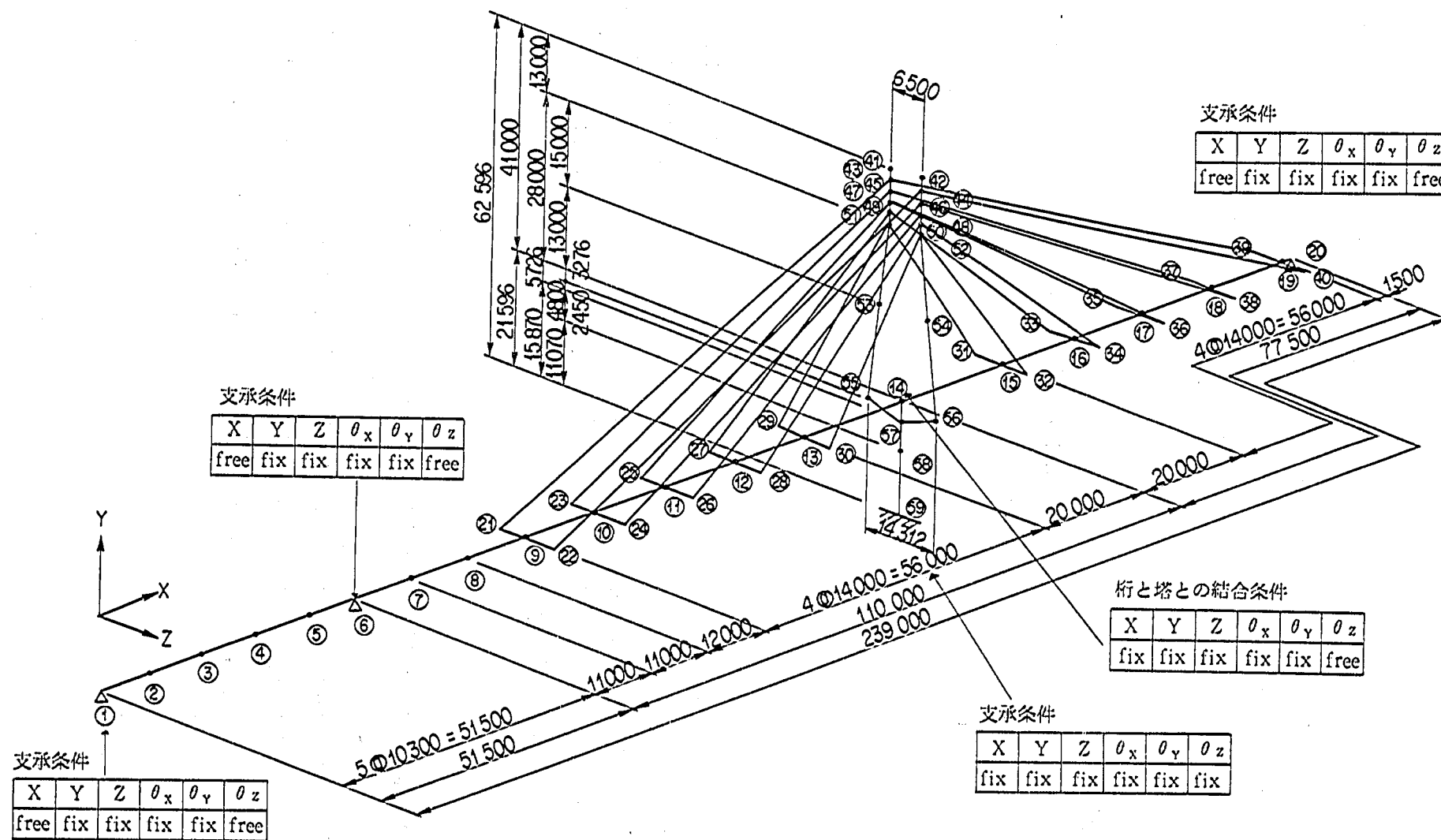
桁→X軸回りの回転方向, Z方向

コンクリート及びPC鋼棒の弾性定数は、表一3.3の値とし、コンクリートの弾性定数については、圧縮強度試験結果より推定される値を採用した。ケーブルには、表一3.4に示す初期張力Nを導入したが、塔及び桁の初期軸力に関しては影響が小さいと考えられることから無視した。尚、ケーブルに初期張力を考慮することにより、ケーブルの軸方向ばねを $\frac{EA}{\ell}$ ではなく $\frac{EA+N}{\ell}$ として評価した。さらに、幾何学的非線形性を考慮して、 $\frac{N}{\ell}$ のせん断方向ばねを作用させた。

3.3 解析結果

図一3.2, 3は固有振動数および固有振動モードを示す。なお、図中のP. F. X. ~ P. F. Z. はそれぞれX ~ Z方向変位に関する刺激係数である。

また、むねれ振動に関しては塔基部支承条件をX軸回りの回転を許す場合の計算も行い、その結果を図一3.4に示した。図一3.3と3.4を比較すると、回転を許す場合には隣り合う2スパンが振動するのに対して、固定した場合には1スパンが振動し、他スパンは振動しにくいモード形状となっている。また、回転を許す場合には固有振動数が低下する。



・質量を付加した格点

図一 3.1 固有値計算に用いた解析モデル

表-3.1 格点座標及び慣性重量

格 点	座 標			慣 性 重 量				格 点	座 標			慣 性 重 量			
	X (m)	Y (m)	Z (m)	M _x (t)	M _y (t)	M _z (t)	M _{θx} (t·m ²)		X (m)	Y (m)	Z (m)	M _x (t)	M _y (t)	M _z (t)	M _{θx} (t·m ²)
1	0.0	6.78	0.0	294.6	110.3	110.3	-	31	181.5	-0.84	-5.5	-	-	-	-
2	10.3	6.35	0.0	-	184.2	184.2	1,167.95	32	181.5	-0.84	5.5	-	-	-	-
3	20.6	5.92	0.0	-	186.9	186.9	1,167.95	33	195.5	-1.43	-5.5	-	-	-	-
4	30.9	5.49	0.0	466.0	186.9	186.9	1,167.95	34	195.5	-1.43	5.5	-	-	-	-
5	41.2	5.05	0.0	-	199.8	199.8	1,167.95	35	209.5	-2.02	-5.5	-	-	-	-
6	51.5	4.62	0.0	458.5	250.0	250.0	-	36	209.5	-2.02	5.5	-	-	-	-
7	62.5	4.16	0.0	-	208.6	208.6	1,233.78	37	223.5	-2.60	-5.5	-	-	-	-
8	73.5	3.70	0.0	462.2	212.0	212.0	1,289.86	38	223.5	-2.60	5.5	-	-	-	-
9	85.5	3.19	0.0	-	302.6	302.6	1,458.11	39	237.5	-3.19	-5.5	-	-	-	-
10	99.5	2.60	0.0	635.6	319.3	319.3	1,570.27	40	237.5	-3.19	5.5	-	-	-	-
11	113.5	2.02	0.0	-	312.6	312.6	1,570.27	41	161.5	41.0	-3.25	22.5	-	22.5	-
12	127.5	1.43	0.0	617.3	309.1	309.1	1,570.27	42	161.5	41.0	3.25	22.5	-	22.5	-
13	141.5	0.84	0.0	-	356.0	356.0	1,906.75	43	161.5	38.0	-3.25	54.8	-	54.8	-
14	161.5	0.0	0.0	829.5	421.2	421.2	2,243.24	44	161.5	38.0	3.25	54.8	-	54.8	-
15	181.5	-0.84	0.0	-	356.0	356.0	1,906.75	45	161.5	35.5	-3.25	49.0	-	49.0	-
16	195.5	-1.43	0.0	618.0	309.5	309.5	1,570.27	46	161.5	35.5	3.25	49.0	-	49.0	-
17	209.5	-2.02	0.0	-	313.3	313.3	1,570.27	47	161.5	33.0	-3.25	106.0	-	106.0	-
18	223.5	-2.60	0.0	650.6	319.9	319.9	1,570.27	48	161.5	33.0	3.25	106.0	-	106.0	-
19	237.5	-3.19	0.0	-	239.3	229.3	869.26	49	161.5	30.5	-3.25	44.98	-	44.98	-
20	239.0	-3.26	0.0	78.3	13.1	13.1	-	50	161.5	30.5	3.25	44.98	-	44.98	-
21	85.5	3.19	-5.5	-	-	-	-	51	161.5	28.0	-3.25	156.9	-	156.9	-
22	85.5	3.19	5.5	-	-	-	-	52	161.5	28.0	3.25	156.9	-	156.9	-
23	99.5	2.60	-5.5	-	-	-	-	53	161.5	13.0	-5.20	264.4	-	264.4	-
24	99.5	2.60	5.5	-	-	-	-	54	161.5	13.0	5.20	264.4	-	264.4	-
25	113.5	2.02	-5.5	-	-	-	-	55	161.5	-3.276	-7.156	406.9	-	406.9	-
26	113.5	2.02	5.5	-	-	-	-	56	161.5	3.276	7.156	406.9	-	406.9	-
27	127.5	1.43	-5.5	-	-	-	-	57	161.5	-5.726	0.0	570.3	-	570.3	-
28	127.5	1.43	5.5	-	-	-	-	58	161.5	-10.526	0.0	482.3	-	482.3	-
29	141.5	0.84	-5.5	-	-	-	-	59	161.5	-21.596	0.0	-	-	-	-
30	141.5	0.84	5.5	-	-	-	-								

表-3.2 部材の断面形状

部材番号	i 端 j 端	断 面 性 状				部材番号	i 端 j 端	断 面 性 状				部材番号	i 端 j 端	断 面 性 状			
		A (m^2)	I_y (m^4)	I_z (m^4)	J_x (m^4)			A (m^2)	I_y (m^4)	I_z (m^4)	J_x (m^4)			A (m^2)	I_y (m^4)	I_z (m^4)	J_x (m^4)
1	1-2	5.718	36.347	4.592	8.720	28	29-13	300.0	2000.0	480.0	260.0	55	56-57	"	"	"	"
2	2-3	"	"	"	"	29	13-30	"	"	"	"	56	57-58	22.237	39.350	39.350	78.700
3	3-4	"	"	"	"	30	31-15	"	"	"	"	57	58-59	25.213	67.145	67.145	134.291
4	4-5	"	"	"	"	31	15-32	"	"	"	"	58	47-48	12.000	4.000	36.000	12.643
5	5-6	6.911	40.424	5.274	10.034	32	33-16	"	"	"	"	59	14-57	1000.0	2000.0	2000.0	4000.0
6	6-7	"	"	"	"	33	16-34	"	"	"	"	60	21-43	1.06×10^{-2}	1.00×10^{-9}	1.00×10^{-9}	1.00×10^{-9}
7	7-8	5.718	36.347	4.592	8.720	34	35-19	"	"	"	"	61	22-44	"	"	"	"
8	8-9	"	"	"	"	35	17-36	"	"	"	"	62	23-45	"	"	"	"
9	9-10	"	"	"	"	36	37-18	"	"	"	"	63	24-46	"	"	"	"
10	10-11	"	"	"	"	37	18-38	"	"	"	"	64	25-47	"	"	"	"
11	11-12	"	"	"	"	38	39-19	"	"	"	"	65	26-48	"	"	"	"
12	12-13	"	"	"	"	39	19-40	"	"	"	"	66	27-49	9.77×10^{-3}	"	"	"
13	13-14	"	"	"	"	40	41-43	5.500	2.865	2.218	4.200	67	28-50	"	"	"	"
14	14-15	"	"	"	"	41	42-44	"	"	"	"	68	29-51	7.33×10^{-3}	"	"	"
15	15-16	"	"	"	"	42	43-45	"	"	"	"	69	30-52	"	"	"	"
16	16-17	"	"	"	"	43	44-46	"	"	"	"	70	31-51	"	"	"	"
17	17-18	"	"	"	"	44	45-47	5.500	2.865	2.218	4.200	71	32-52	"	"	"	"
18	18-19	"	"	"	"	45	46-48	"	"	"	"	72	33-49	9.77×10^{-3}	"	"	"
19	19-20	"	"	"	"	46	47-49	5.903	3.591	2.381	4.797	73	34-50	"	"	"	"
20	21-9	300.0	2000.0	480.0	260.0	47	48-50	"	"	"	"	74	35-47	1.06×10^{-2}	"	"	"
21	9-22	"	"	"	"	48	49-51	"	"	"	"	75	36-48	"	"	"	"
22	23-10	"	"	"	"	49	50-52	"	"	"	"	76	37-45	"	"	"	"
23	10-24	"	"	"	"	50	51-53	6.976	6.008	2.814	6.440	77	38-46	"	"	"	"
24	25-11	"	"	"	"	51	52-54	"	"	"	"	78	39-43	"	"	"	"
25	11-26	"	"	"	"	52	53-55	8.224	9.717	3.317	8.400	79	40-44	"	"	"	"
26	27-12	"	"	"	"	53	54-56	"	"	"	"						
27	12-28	"	"	"	"	54	55-57	19.800	26.400	70.142	58.612						

A:断面積
 I_y, I_z :断面2次モーメント
 I_x :ねじれ剛性

表-3.3 材料の設定数

(t/m²)

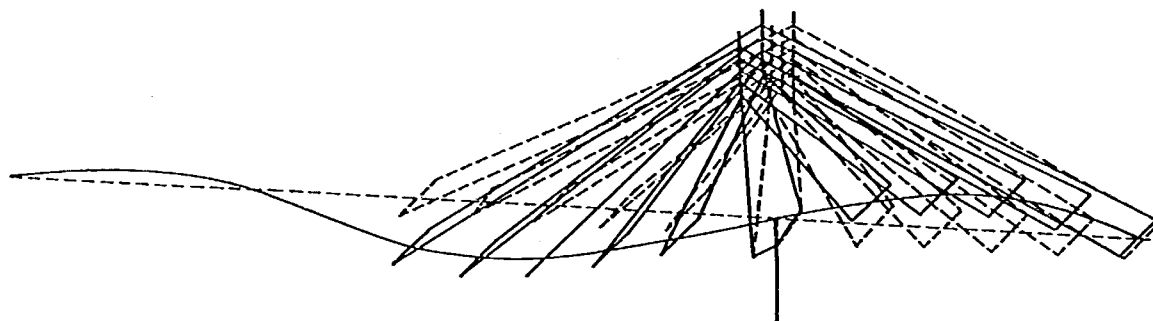
	弾 性 定 数	せん断定数
桁 部 コ ン ク リ ー ト	3.98×10^6	1.73×10^6
塔・橋脚部コンクリート	3.14×10^6	1.36×10^6
ケーブル (P C 鋼棒)	2.05×10^7	8.10×10^6

注) コンクリートの定数は、材令28日強度相当

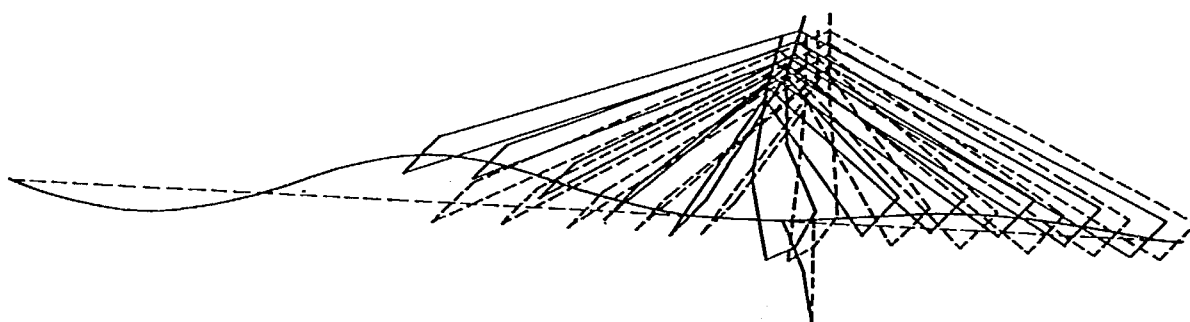
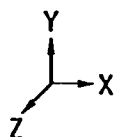
表-3.4 ケーブルの初期張力

部 材	張力(t)	重量(t)
27-43, 22-44	342	13.2
23-45, 24-46	336	11.1
25-47, 26-48	292	9.1
27-49, 28-50	236	7.1
29-51, 30-52	216	5.4
31-51, 32-52	210	5.6
33-49, 34-50	252	7.4
35-47, 36-48	299	9.5
37-45, 38-46	334	11.6
39-43, 40-44	343	13.8

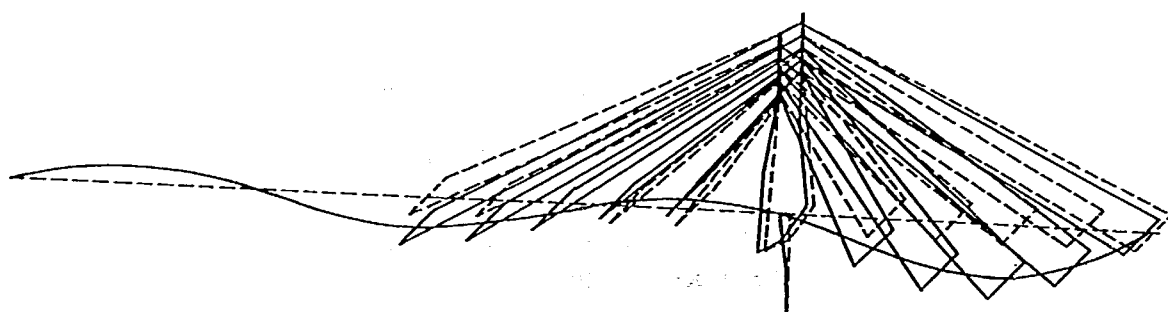
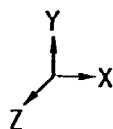
注) 重量は、鋼棒、グラウト、保護管を含めた1本当りの重量



MODE = 1 P. F. X = -0.792 E + 01
 FREQ. = 0.793 (HZ) P. F. Y = -0.473 E + 01
 PERIOD = 1.260 (SEC) P. F. Z = 0.000 E + 00



MODE = 2 P. F. X = -0.247 E + 02
 FREQ. = 1.400 (HZ) P. F. Y = 0.557 E + 01
 PERIOD = 0.715 (SEC) P. F. Z = 0.000 E + 00



MODE = 3 P. F. X = -0.111 E + 02
 FREQ. = 1.595 (HZ) P. F. Y = -0.110 E + 02
 PERIOD = 0.627 (SEC) P. F. Z = 0.000 E + 00

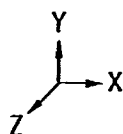
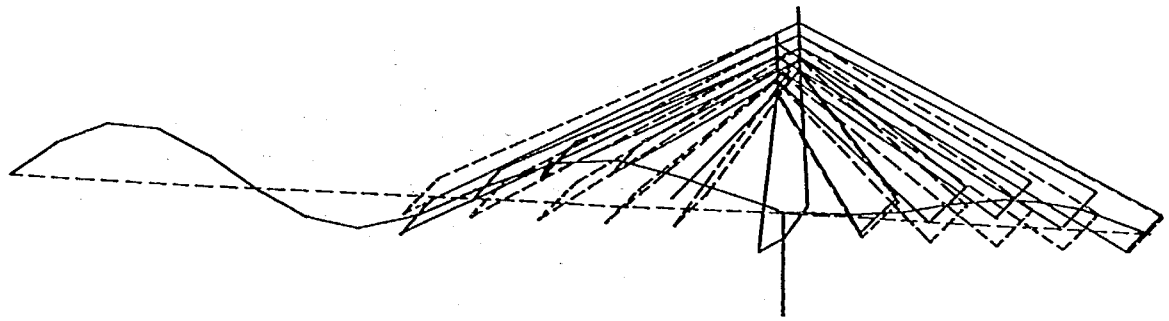
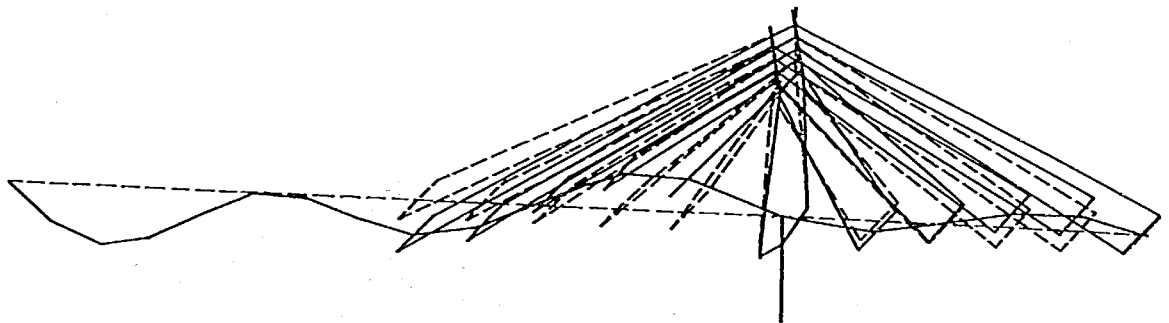
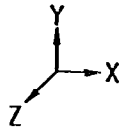


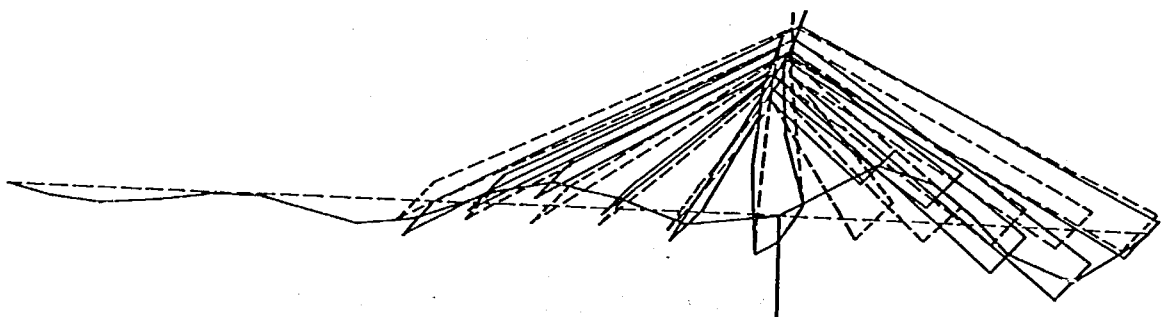
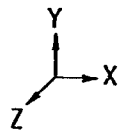
図-3.2(1) 橋軸方向の固有振動数及び振動モード(1)



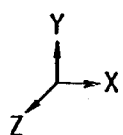
MODE = 4 P. F. X = -0.202 E+01
 FREQ. = 2.098 (HZ) P. F. Y = 0.124 E+02
 PERIOD = 0.477 (SEC) P. F. Z = 0.000 E+00



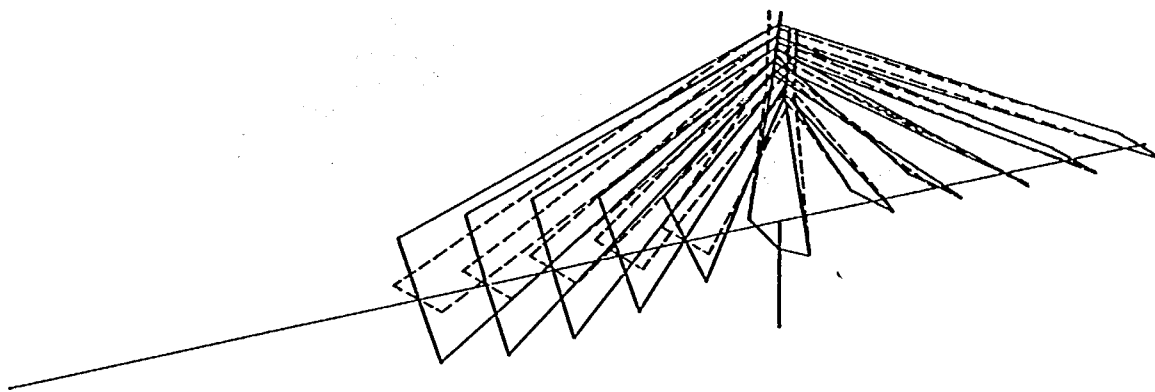
MODE = 5 P. F. X = -0.123 E+01
 FREQ. = 2.662 (HZ) P. F. Y = -0.372 E+01
 PERIOD = 0.376 (SEC) P. F. Z = 0.000 E+00



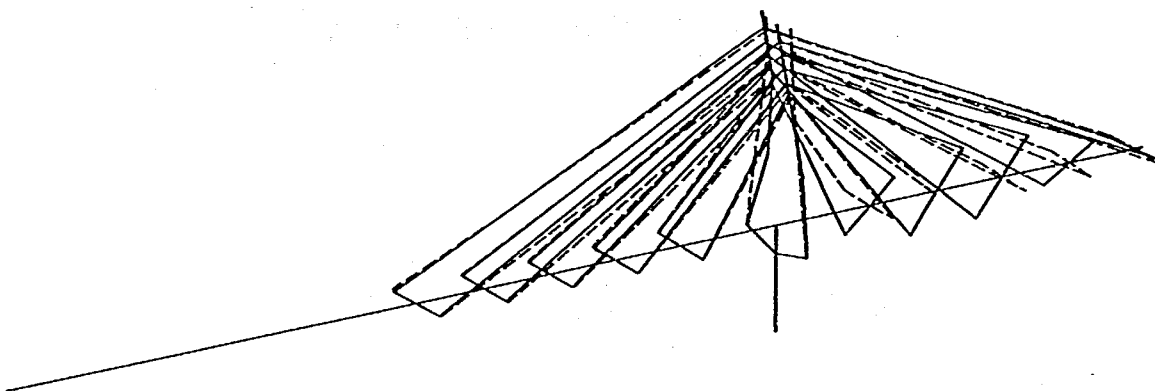
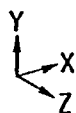
MODE = 6 P. F. X = 0.992 E+00
 FREQ. = 3.591 (HZ) P. F. Y = -0.138 E+01
 PERIOD = 0.279 (SEC) P. F. Z = 0.000 E+00



図一 3.2 (2) 橋軸方向の固有振動数及び振動モード(2)



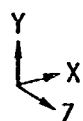
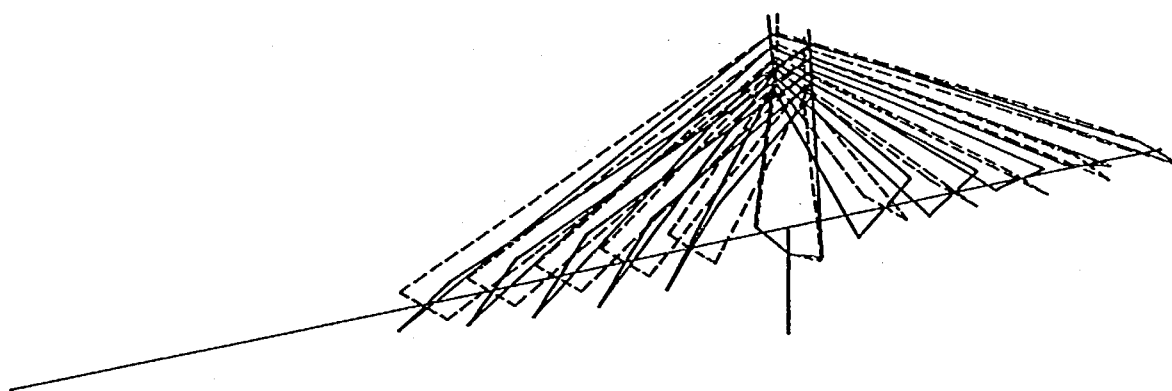
MODE = 1 P. F. X = 0.000 E+00
 FREQ. = 5.959 (HZ) P. F. Y = 0.000 E+00
 PERIOD = 0.168 (SEC) P. F. Z = -0.353 E+00



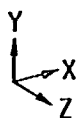
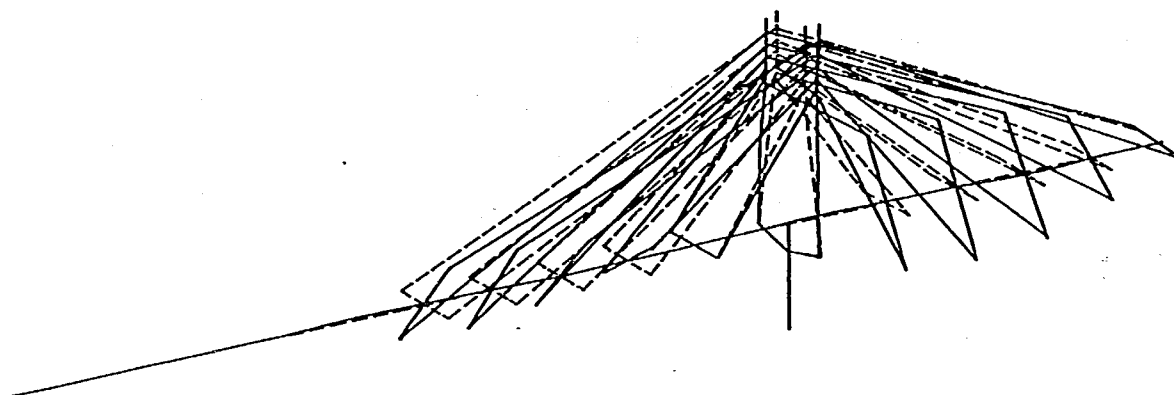
MODE = 2 P. F. X = 0.000 E+00
 FREQ. = 7.991 (HZ) P. F. Y = 0.000 E+00
 PERIOD = 0.125 (SEC) P. F. Z = 0.153 E+01



図-3.3 ねじれの固有振動数及び振動モード



MODE	= 1	P. F. X =	0.000 E + 00
FREQ.	= 4.695 (HZ)	P. F. Y =	0.000 E + 00
PERIOD	= 0.213 (SEC)	P. F. Z =	0.491 E - 01



MODE	= 2	P. F. X =	0.000 E + 00
FREQ.	= 6.730 (HZ)	P. F. Y =	0.000 E + 00
PERIOD	= 0.149 (SEC)	P. F. Z =	-0.105 E + 01

図-3.4 ねじれの固有振動数及び振動モード
(塔基部と桁の結合条件を桁軸回り
回転自由とした場合)

3.4 追加計算

実験終了後、実測値と計算値との対比を行う中で若干の追加計算が行われた。計算項目は次のとおりである。

- (1) ケース(1) ケーブルのグラウト分の剛性を考慮に入れる。
- (2) ケース(2) ケース(1)の他にコンクリートのEを15%増加する。
- (3) ケース(3) ケース(1)の他にコンクリートのEを20%増加する。
- (4) ケース(4) ケーブルに質量を分布させる。

計算結果を表一3.5に、またケース(4)の振動モード図を図一3.5に示す。ケース(1)は基本ケースでは無視したケーブルのグラウトがP C鋼棒に付着して伸び剛性に寄与すると仮定したものであり、ケース(2)、(3)はコンクリートのEが大きく見込めると考えたケースである。ケース(4)は、通常斜張橋の固有値解析のモデルとしてはケーブルの質量は桁と塔に振り分けるのに対し、現場では顕著なケーブル振動が観測されたために、ケーブルに質量を分布させたモデルとしたものである。計算の制約からケーブルの質点はケーブル1本当たり2点としたので図一3.5に示すモードはなめらかになっていないが、傾向を把握することができる。ケース(4)では基本ケースの各次数に対応する振動数領域で複数の固有値が得られている。例えば基本ケース1次0.793 Hzに対応するケース(4)の振動数としては0.747 Hzと0.853 Hzが得られている。これを図一3.5のモード図で見ると、ケーブルの形状がほぼ同じであるのに対して、桁の形状が上側、下側と反対になっていることが分る。すなわち、桁の振動モードがほとんど同じであって、ケーブルの振動モードが若干異なる近接した固有値が存在することが特徴として挙げられる。さらに、いずれのモードも桁の振動変位に比べケーブルの振動変位が極めて大きいことがわかる。

表一3.5 固有振動数追加計算結果（たわみ振動）

固有振動数追加計算結果（12400振動）					
[Hz]					
ケース 次数	基本ケース	ケース(1)	ケース(2)	ケース(3)	ケース(4)
1 次	0.793	0.856	0.894	0.906	0.747 0.853
2 次	1.400	1.424	1.520	1.550	1.408
3 次	1.595	1.752	1.822	1.844	1.539, 1.613 1.637
4 次	2.098	2.221	2.336	2.372	2.106
5 次	2.662	2.755	2.917	2.968	2.668 2.675

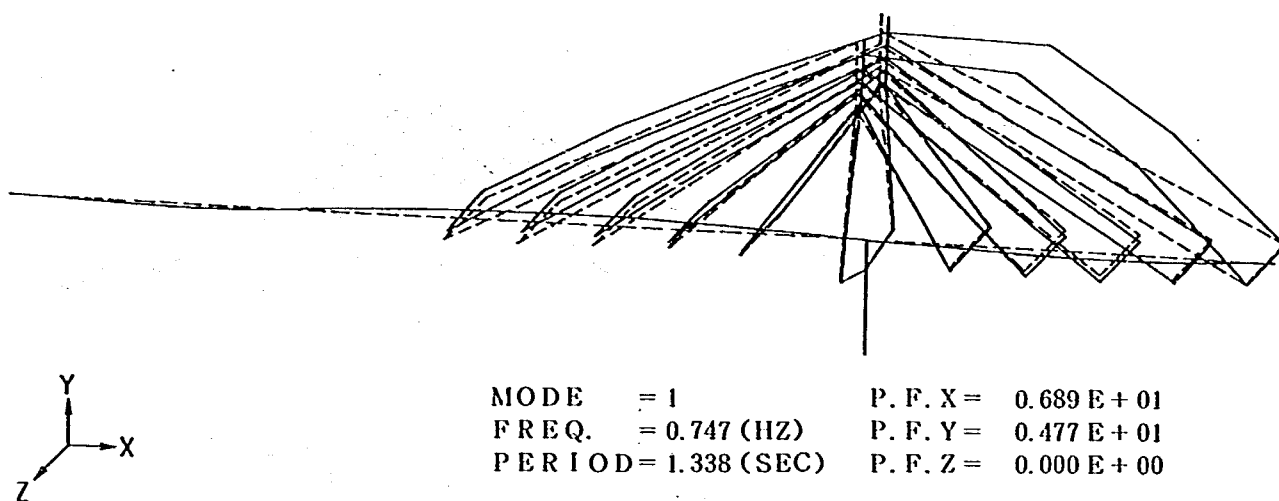


図-3.5(1) 固有振動数および振動モード (ケース(4))

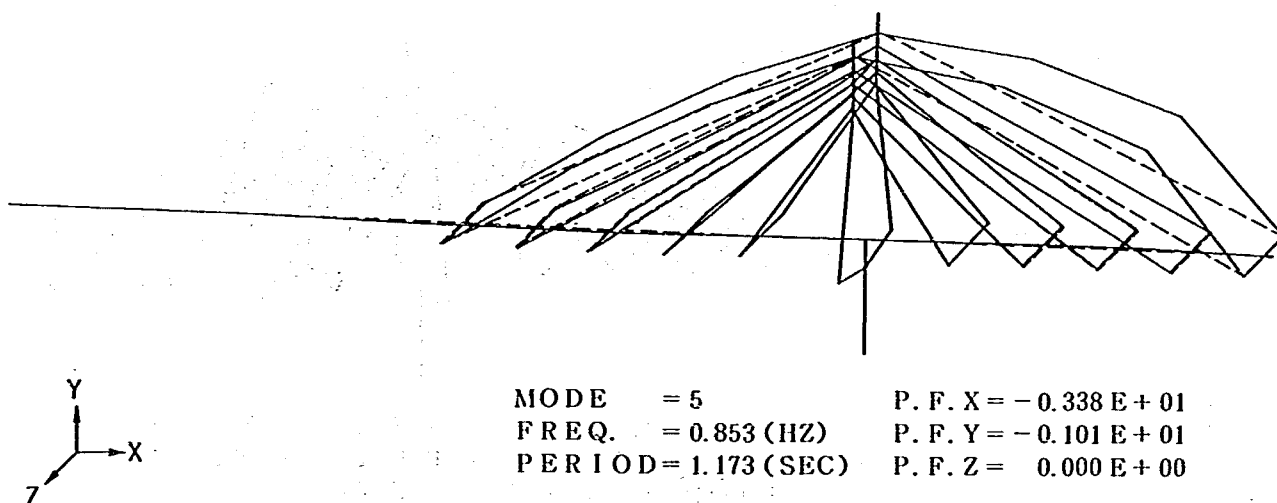


図-3.5(2) 固有振動数および振動モード (ケース(4))

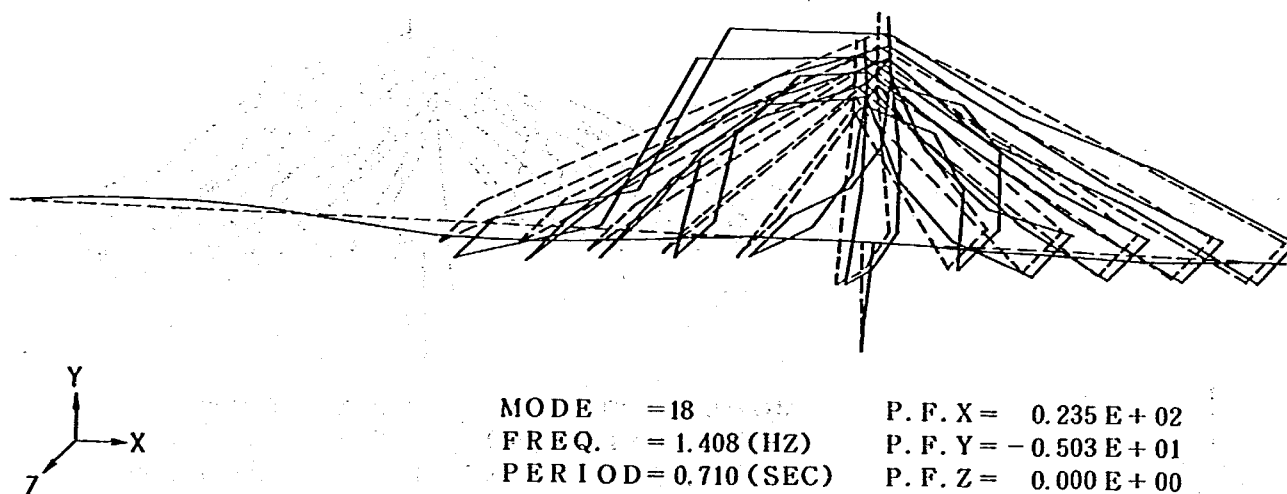


図-3.5(3) 固有振動数および振動モード (ケース(4))

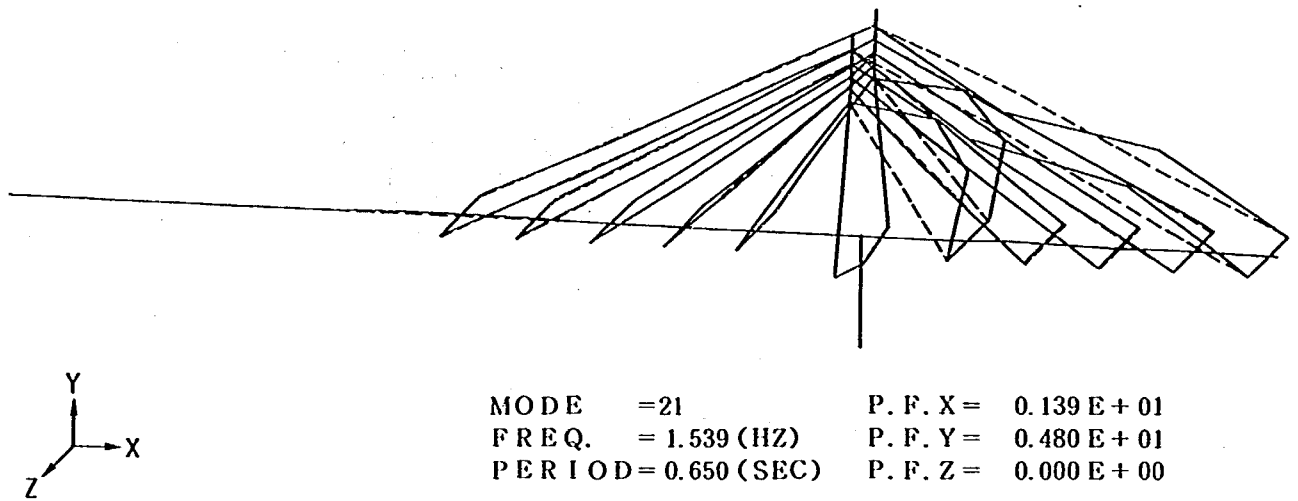


図-3.5(4) 固有振動数および振動モード (ケース(4))

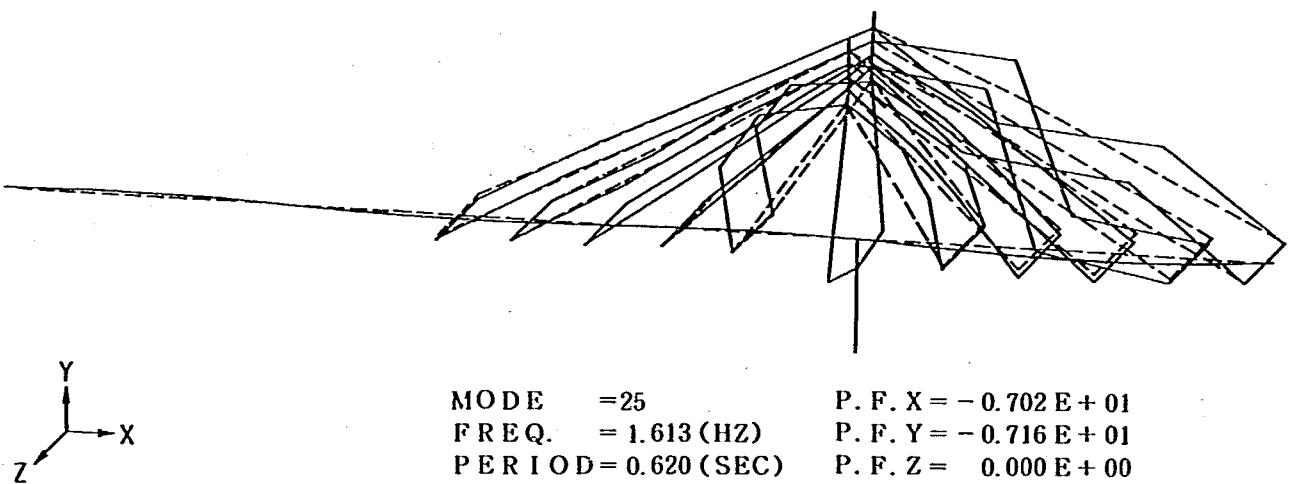


図-3.5(5) 固有振動数および振動モード (ケース(4))

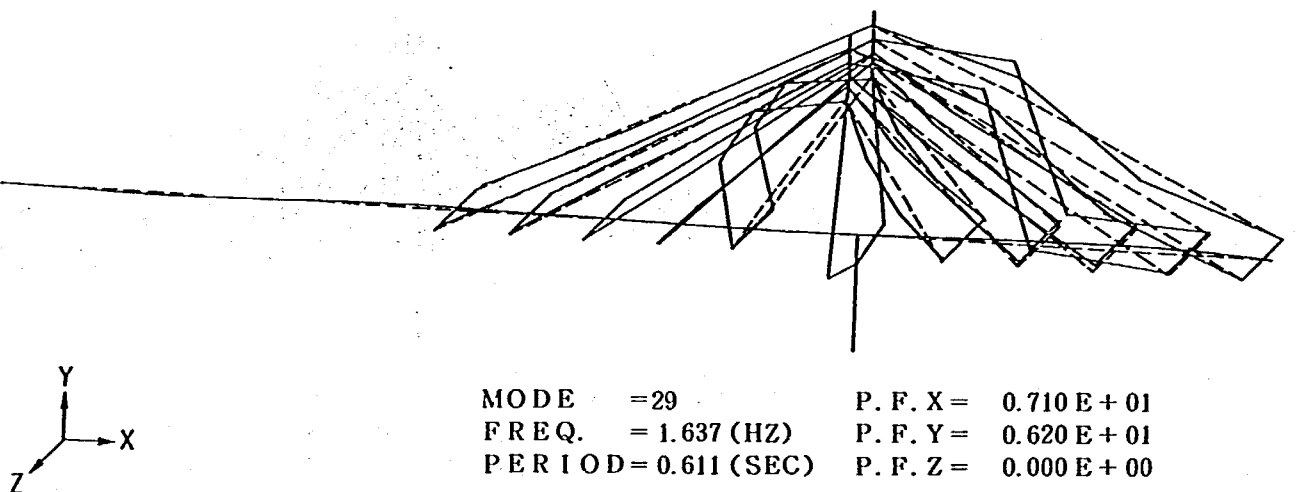


図-3.5(6) 固有振動数および振動モード (ケース(4))

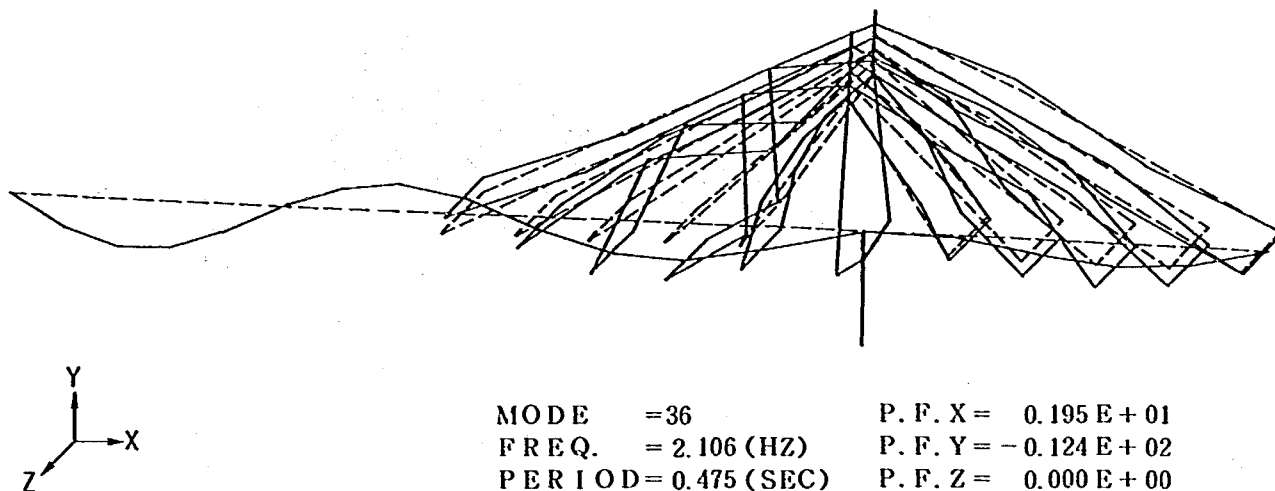


図-3.5(7) 固有振動数および振動モード (ケース(4))

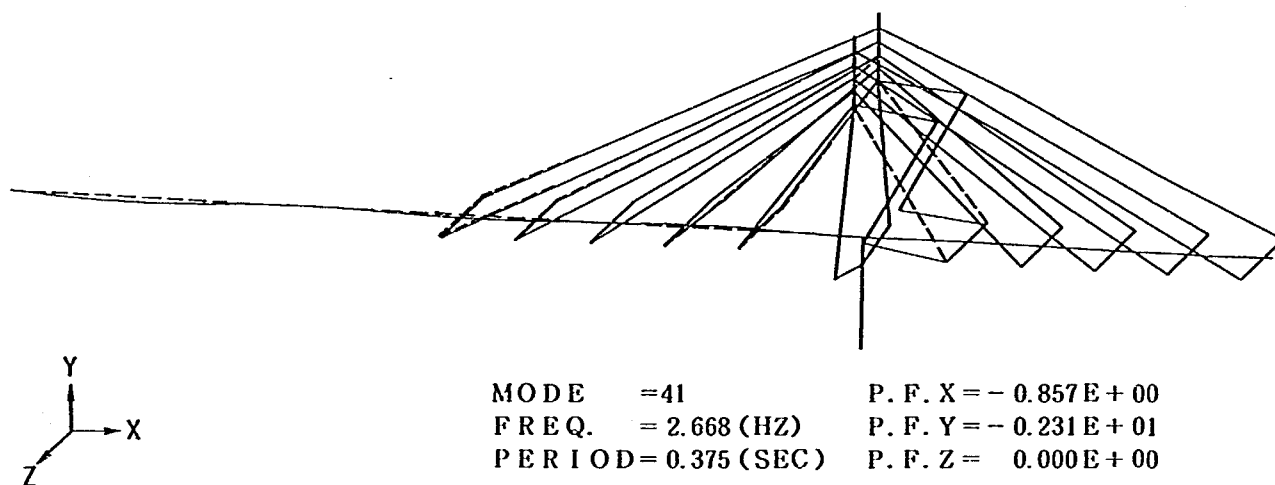


図-3.5(8) 固有振動数および振動モード (ケース(4))

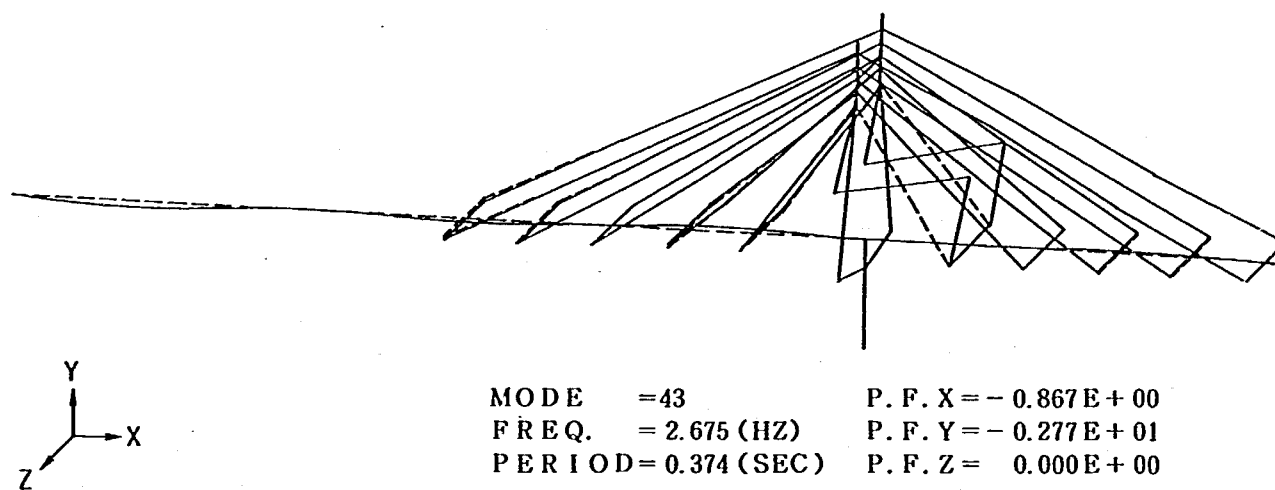
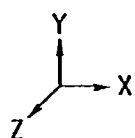
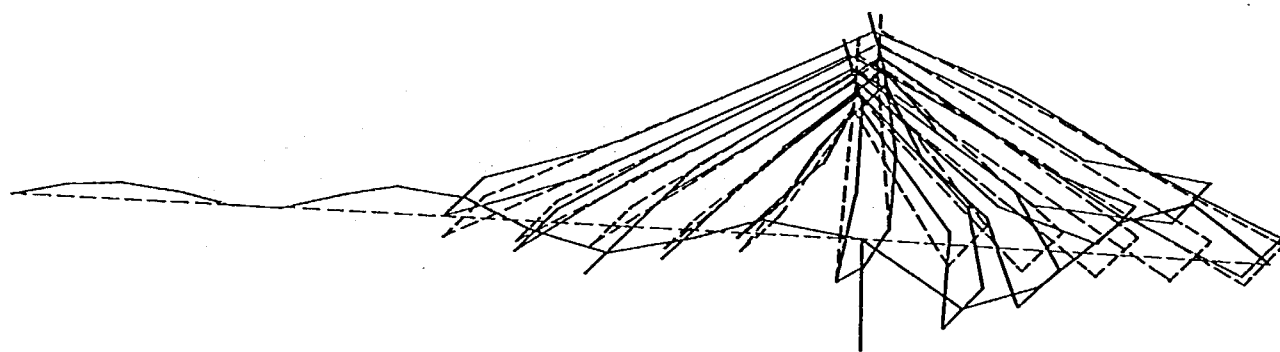


図-3.5(9) 固有振動数および振動モード (ケース(4))



MODE	=46	P. F. X	= - 0.977 E + 00
FREQ.	= 3.614 (HZ)	P. F. Y	= 0.140 E + 01
PERIOD	= 0.277 (SEC)	P. F. Z	= 0.000 E + 00

図一3.5 (10) 固有振動数および振動モード (ケース(4))

4. 実験結果の整理

4.1 実験結果の整理方法

計測データは、デジタルデータレコーダにより、デジタル量として収録し、土木研究所の大型電子計算機を用い整理を行った。

1) A/D変換

A/D変換は、共振試験及び自由減衰試験についてはサンプリング間隔 $\Delta t = 0.01 \text{ sec}$ 、常時微動測定については、 $\Delta t = 0.02 \text{ sec}$ とした。尚、A/D変換時のローパスフィルターのカットオフ周波数は、鉛直方向加振については、5 Hz、ねじれ方向加振については、8 Hz、又常時微動測定については15 Hzとした。

2) 実加速度への校正

今回実験に用いたテレバイプロメーターは、N24E型、N24SA型とAVL25A型の3種類である。これらのアンプは校正信号の出力形式に違いがあり、それぞれの校正手法に従って実加速度記録に校正した。

3) 共振試験の整理

観測された波形はノイズを含み、オシロペーパーからの読取りが困難であったことからフーリエ変換を行って処理をした。

処理の過程は、以下の通りである。

- ① フーリエ変換により、フーリエ振幅を求める。
- ② 起振機に最も近くに設置したセンサーのフーリエ振幅が最大となる振動数を、それぞれの加振状態での振動数とする。
- ③ 振幅の算定は、応答波形が概ね正弦波であるため、波形のパワースペクトルの積分値の平方根（実効値）を求め、この値の $\sqrt{2}$ 倍を振動とする。但し、パワースペクトルの積分値を求める時、ノイズ分をカットする意味で、積分区間を公称振動数（起振機操作盤の読み値）の前後 $\pm 1 \text{ Hz}$ の区間とする。
- ④ 起振力 F は起振振動数 f 、起振機内部の重錘質量 M 及び、重錘の開き角度 θ を関数とする $R(\theta)$ より算定される。

$$F = (2\pi f)^2 \cdot M \cdot R(\theta) \quad (1 \text{ 基当り})$$

尚、 $(2\pi)^2 \cdot M \cdot R(\theta)$ の値は、図-2.1 より下記の通りとなる。

又、 F を算定する際、 f は②で算定したものを使用する。

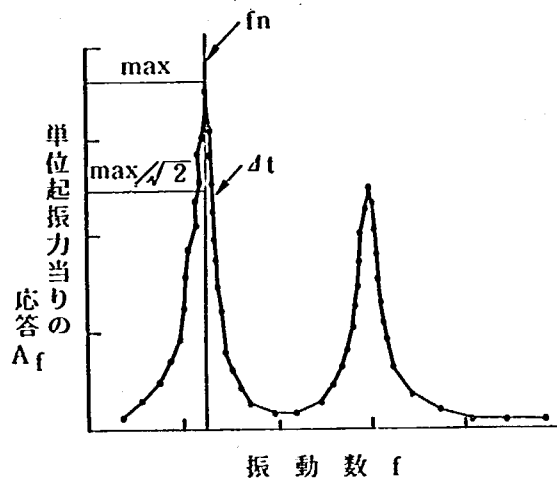
目 盛	100	95	80	60	50	17	7
$(2\pi)^2 (t \cdot s^2) \cdot M \cdot R(\theta)$	0.150	0.143	0.125	0.096	0.080	0.029	0.013

- ⑤ ③で求めた振幅を、起振力で除して、単位起振力当りの応答とする。
- ⑥ ②、⑤で求めた振動数及び単位起振力当りの応答値を用いて、共振曲線を作成する。又、各次数の応答値より振動モード及び減衰定数を算定する。

減衰定数 h は、次頁の様に算定する。

$$h = \frac{\Delta t}{2 \pi f_n}$$

$$\delta = 2 \pi h$$

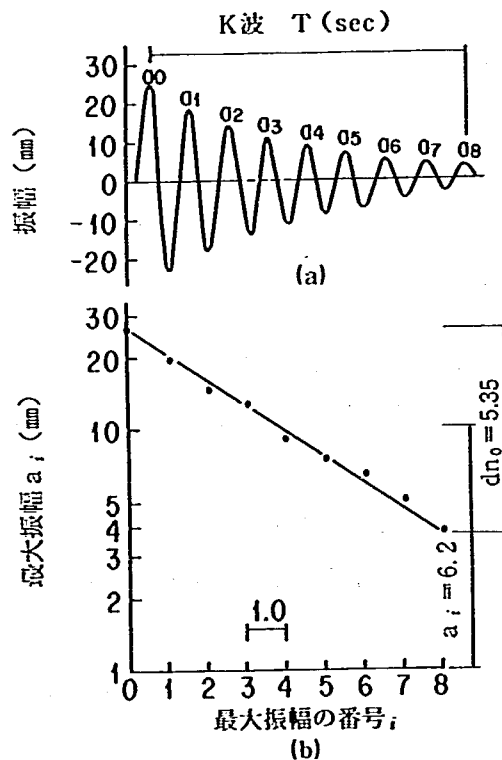


4) 自由減衰試験の整理

対数減衰率 δ は, $(n-1)$ 波目の振幅 a_{n-1} と n 波目の振幅 a_n より

$$\delta = \ell_n \frac{a_{n-1}}{a_n}$$

と定義される。 n と a_n とを片対数方眼紙上にプロットすれば, この直線の勾配から対数減衰率が求められる。



尚, 今回の記録波形は, 概ね次の3通りに分類された。それぞれについて次の方針に従って, 対数減衰率を算定した。

- イ) 一定の割合で減衰するもの。→通常通りの算定。
- ロ) うなりが生じ, その周期が短いもの→最小二乗法的に算定。
- ハ) うなりが生じ, その周期が長いもの→勾配の違う数箇所について算定。
- イ) ~ハ) の具体例を図-4.1に示す。

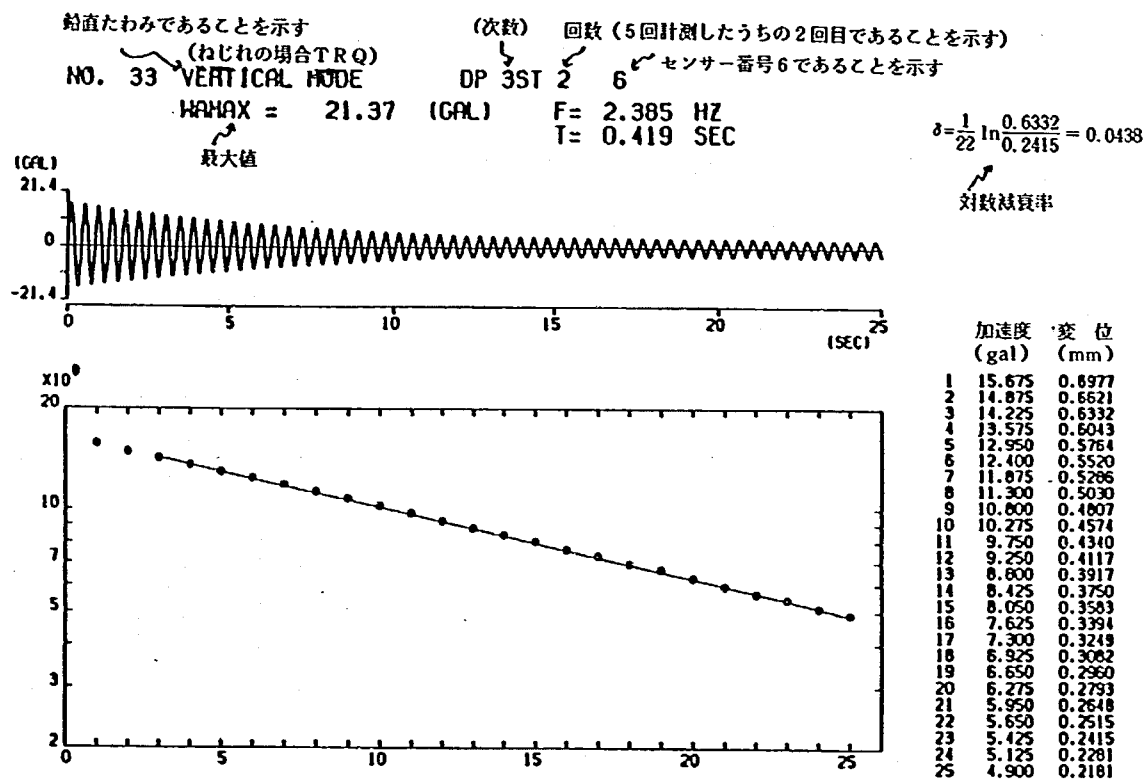


図-4.1 (1) 自由減衰波形の処理方法(1) イ) のタイプ

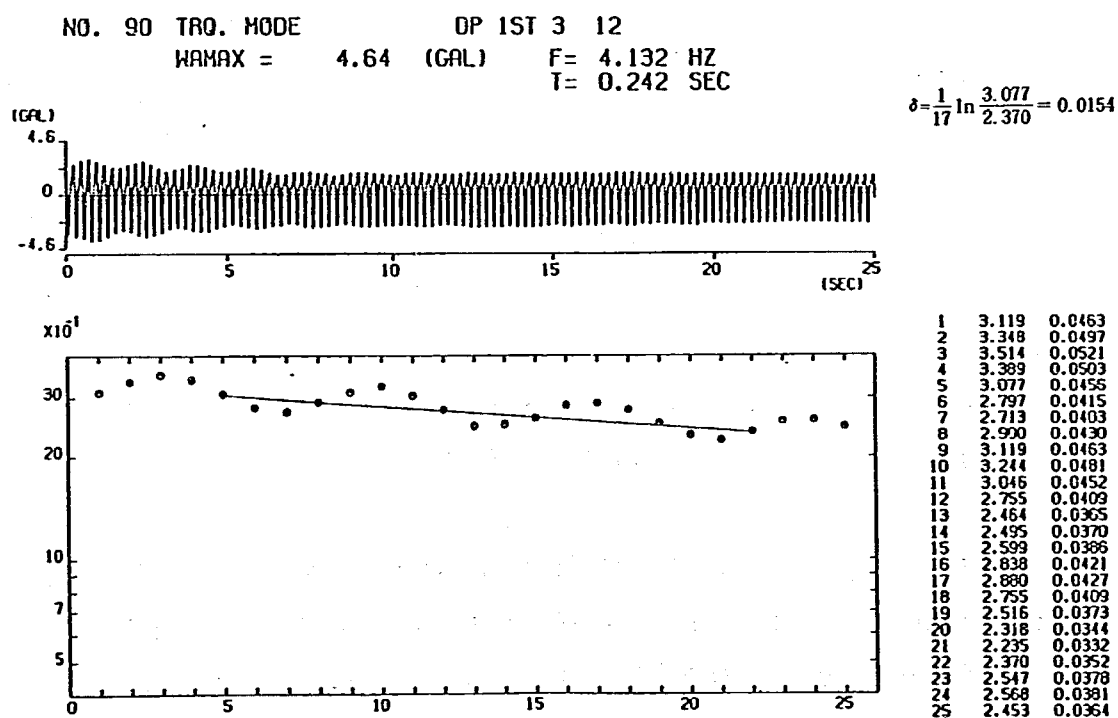


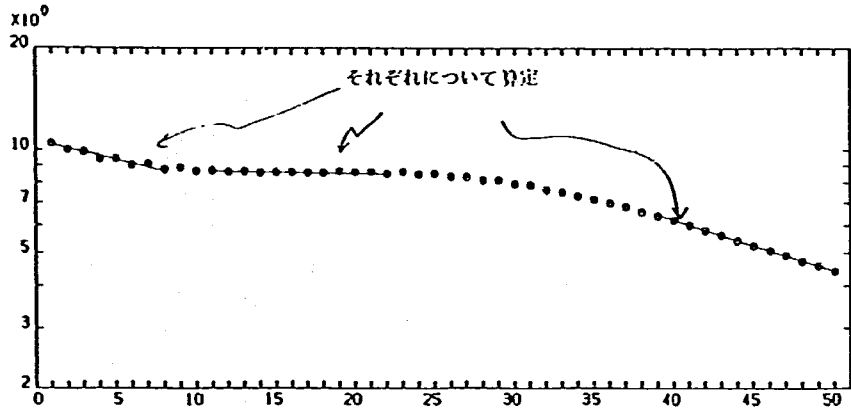
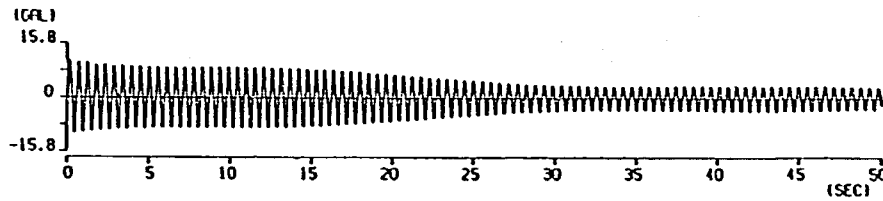
図-4.1 (2) 自由減衰波形の処理方法(2) ロ) のタイプ

NO. 178 VERTICAL MODE OP 2ST 5 7
 WAMAX = 15.78 (GAL) F= 1.851 HZ
 T= 0.540 SEC

$$\delta_1 = \frac{1}{7} \ln \frac{0.7723}{0.6470} = 0.0253$$

$$\delta_2 = \frac{1}{11} \ln \frac{0.6409}{0.6294} = 0.0016$$

$$\delta_3 = \frac{1}{11} \ln \frac{0.4726}{0.3266} = 0.0336$$



1	10.448	0.7723	26	8.338	0.6163
2	10.011	0.7400	27	8.338	0.6163
3	9.855	0.7285	28	8.150	0.6025
4	9.408	0.6954	29	8.140	0.6017
5	9.408	0.6954	30	7.922	0.5856
6	9.013	0.6662	31	7.859	0.5809
7	9.086	0.6716	32	7.620	0.5633
8	8.753	0.6470	33	7.516	0.5556
9	8.857	0.6547	34	7.319	0.5410
10	8.639	0.6386	35	7.152	0.5287
11	8.670	0.6409	36	6.976	0.5156
12	8.598	0.6355	37	6.809	0.5033
13	8.639	0.6386	38	6.581	0.4864
14	8.587	0.6347	39	6.394	0.4726
15	8.608	0.6363	40	6.217	0.4595
16	8.618	0.6370	41	6.019	0.4449
17	8.587	0.6347	42	5.811	0.4296
18	8.577	0.6340	43	5.624	0.4157
19	8.660	0.6401	44	5.437	0.4019
20	8.598	0.6355	45	5.240	0.3873
21	8.629	0.6378	46	5.073	0.3750
22	8.514	0.6294	47	4.917	0.3635
23	8.629	0.6378	48	4.720	0.3489
24	8.462	0.6255	49	4.574	0.3381
25	8.504	0.6286	50	4.418	0.3266

図一 4.1 (3) 自由減衰波形の処理方法(3) ハ) のタイプ

5) 常時微動測定結果の整理

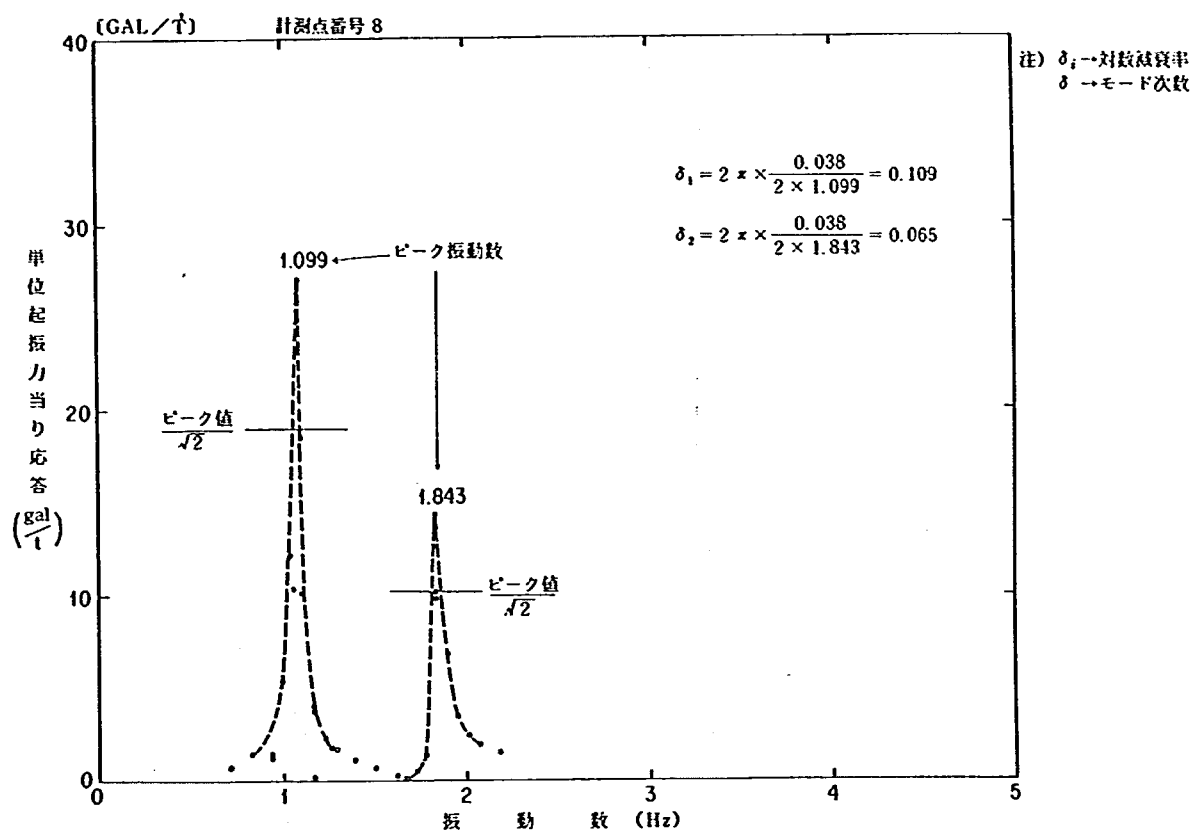
常時微動測定は、サンプリング間隔 $\Delta t = 0.02 \text{ sec}$ にて、1 時間以上行っている。整理は記録データのうち、約 1 時間分に相当する 180224 個 ($60 \text{ 分} \times 60 \text{ 秒} \div 0.02 = 180000$) を用いて行った。又、パワースペクトルの計算は安定したスペクトルを得る目的で、データを 8192 個ずつ 22 に分け ($8192 \times 22 = 180224$) 個々にパワースペクトルを算定、後で全アンサンブル平均をとるという方法を用いた。この際、スムージングとして Hamming ウィンドウを 10 回使用したものと、使用しないものの、二通りの方法で整理する。

得られたパワースペクトルより、固有振動数の算定及び、ハーフパワー法を用いた対数減衰率の算定を行う。又、パワースペクトル値の平方根をモード値として振動モード図を作成する。

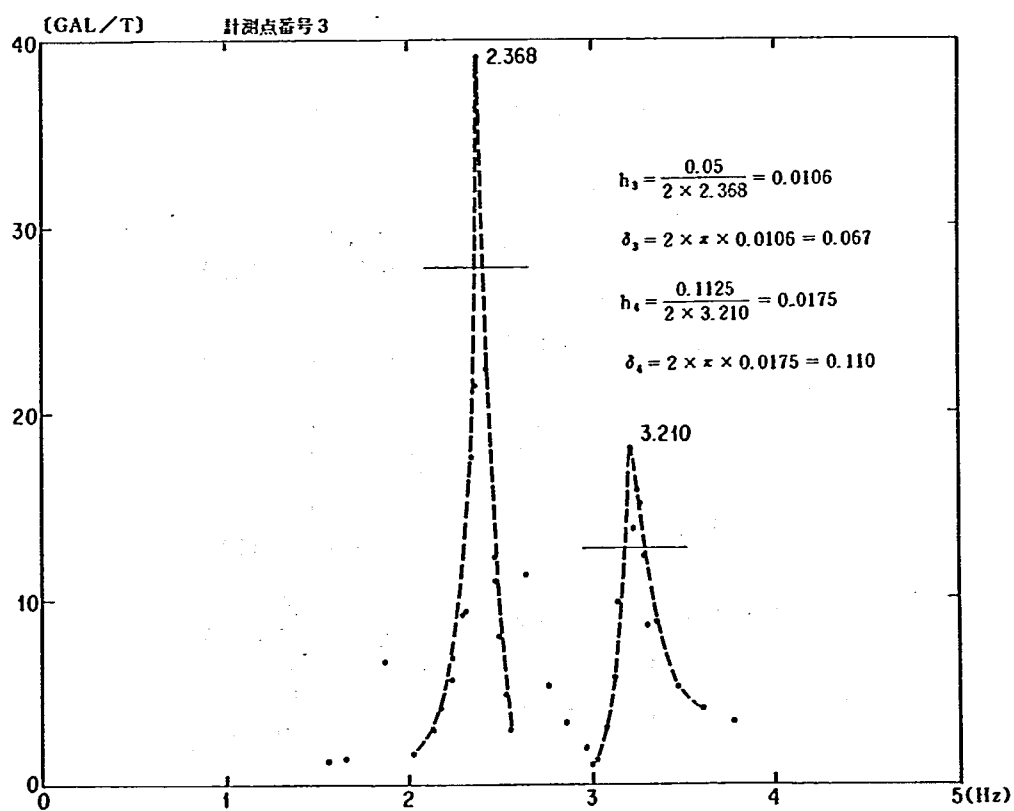
4.2 共振試験結果

図一 4.2 に代表的な共振曲線を示す。同図にはハーフ・パワー法による対数減衰の算定値も示されている。表一 4.1 に共振試験より得られた固有振動数および構造減衰をとりまとめた。また、表一 4.2 には各測点毎の対数減衰率を示した。

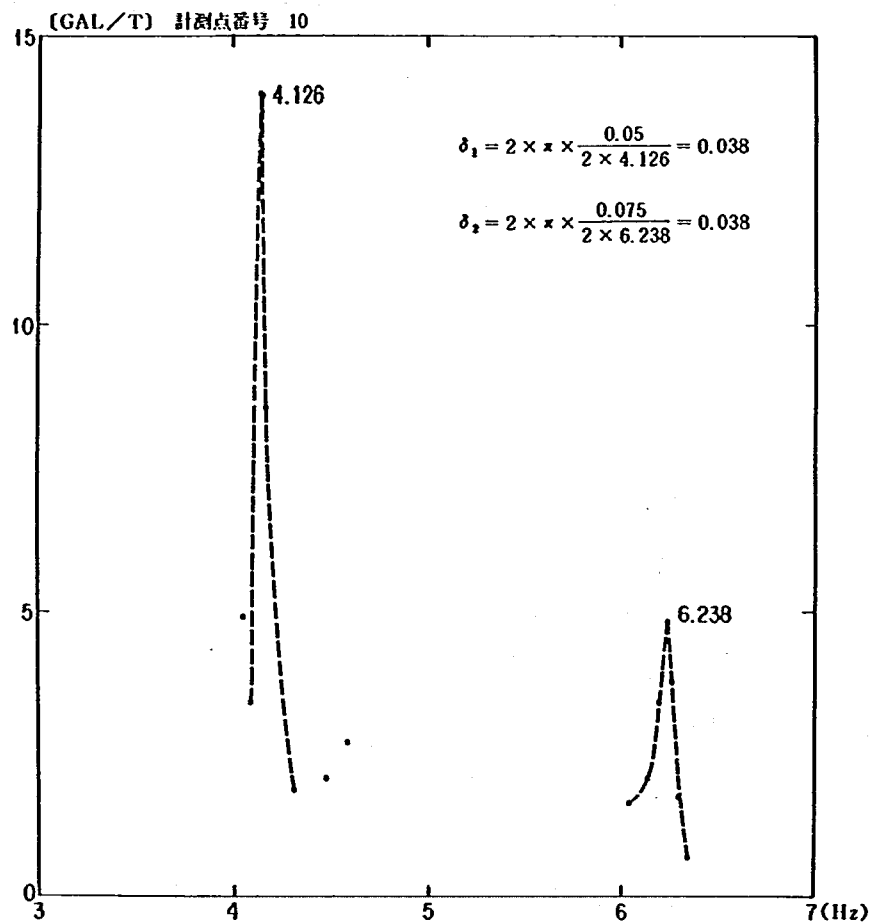
図一 4.3 に、振動モード図を示す。ねじれ振動に関しては、ねじれ成分に鉛直成分が混ざっていたため、桁端に配置した 2 台の加速度計の測定値を加減算することによりこれらを分離したものについても示した。ねじれ振動時の橋軸直角方向成分はねじれ成分と同時に表示し難いので図一 4.3 (5) に示した。



図一 4.2 (1) 共振曲線(1) (たわみ 1 次 2 次)



図一 4.2 (2) 共振曲線(2) (たわみ 3 次 4 次)



図一 4.2 (3) 共振曲線(3) (ねじれ 1 次, 2 次)

表一 4.1 共振試験より得られる固有振動数及び対数減衰率

	振動数(H Z)	対数減衰率 δ
たわみ 1 次	1.099	0.106 (0.043 ~ 0.141)
" 2 次	1.843	0.068 (0.043 ~ 0.085)
" 3 次	2.368	0.055 (0.033 ~ 0.067)
" 4 次	3.210	0.102 (0.098 ~ 0.110)
ねじれ 1 次	4.126	0.040 (0.028 ~ 0.076)
" 2 次	6.238	0.041 (0.025 ~ 0.063)

表— 4.2 (1) 共振曲線より得られる対数減衰率
(鉛直加振)

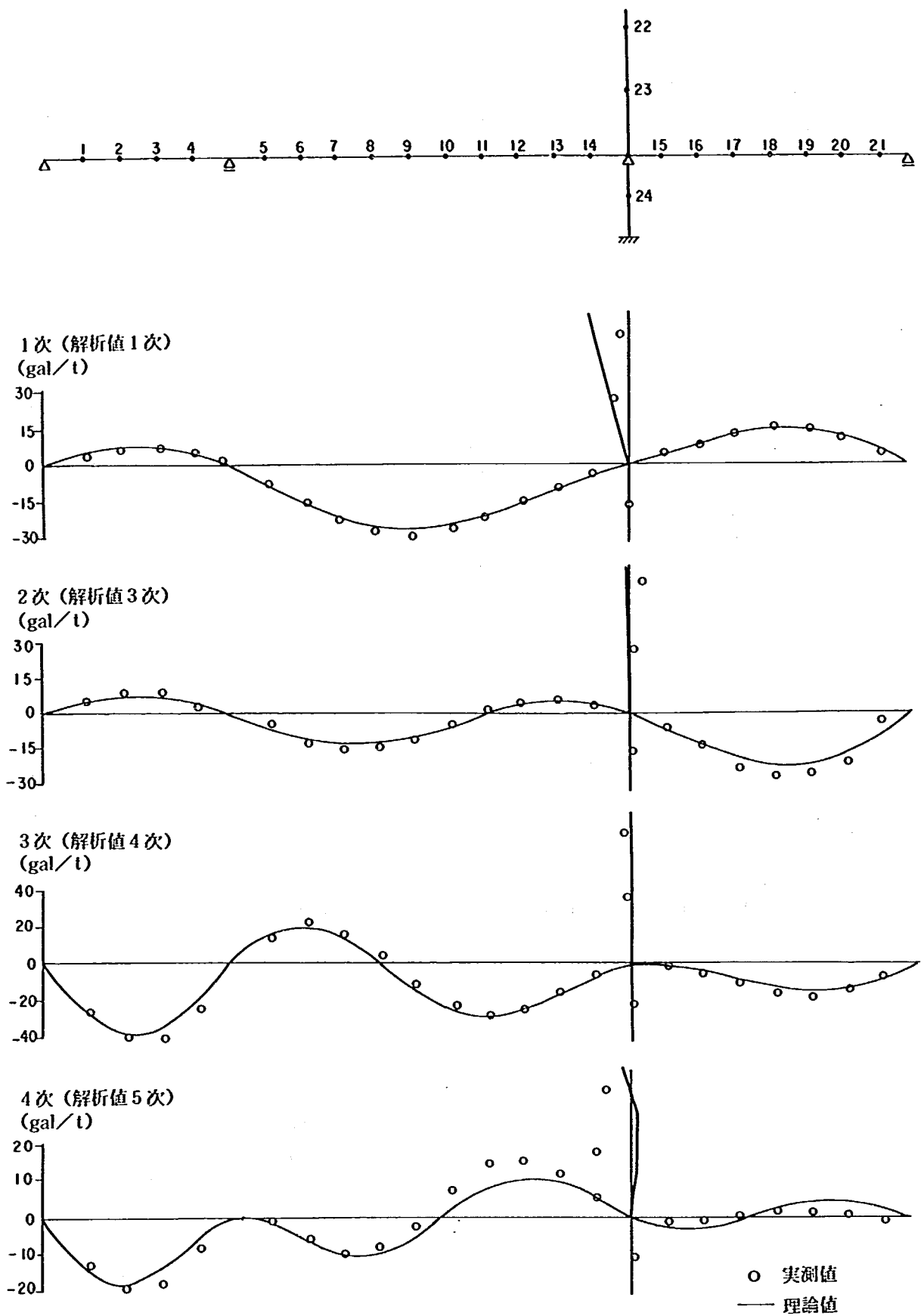
次数 pick \ f		1 次 1.099 (Hz)	2 次 1.843 (Hz)	3 次 2.368 (Hz)	4 次 3.210 (Hz)
22	塔 L G	0.141	0.085	—	0.098
23	"	0.114	—	—	0.110
24	橋脚 L G	—	—	—	—
1	桁 鉛 直	—	—	0.067	0.098
2	"	0.109	0.085	0.067	0.098
3	"	0.085	0.077	0.067	0.110
4	"	—	—	0.067	0.110
5	"	0.109	—	0.050	—
6	"	0.072	0.065	0.050	0.098
7	"	0.109	0.043	0.050	0.098
8	"	0.109	0.065	—	0.098
9	"	0.109	0.065	0.067	—
10	"	0.094	—	0.050	0.110
11	"	0.143	—	0.033	0.110
12	"	0.109	—	0.050	0.098
13	"	0.109	0.043	0.067	0.098
14	"	—	—	0.050	0.098
15	"	0.065	—	—	—
16	"	0.129	0.060	—	—
17	"	0.143	0.065	0.050	—
18	"	0.109	0.077	0.033	—
19	"	0.100	0.074	0.067	—
20	"	0.109	0.085	0.050	—
21	"	0.043	—	0.050	—
平 均		0.106	0.068	0.055	0.102

注) L G は橋軸方向の水平を意味する。

表— 4.2 (2) 共振曲線より得られる対数減衰率 (ねじれ加振)

次数 pick \ f		1 次 4.163 (Hz)	2 次 6.238 (Hz)
31	塔 L G	0.038	0.025
33	"	—	—
35	"	—	0.031
32	塔 T R	0.038	—
34	"	0.038	—
36	"	—	—
1	桁 鉛 直	—	—
2	"	—	—
3	"	—	0.044
4	"	—	0.038
5	"	0.076	—
6	"	0.038	0.031
7	"	0.048	0.038
8	"	0.028	—
9	"	0.028	0.050
10	"	0.038	0.038
11	"	0.038	0.063
12	"	0.048	0.050
13	"	—	—
14	"	—	—
15	"	—	0.051
16	"	—	0.038
17	"	0.057	0.051
18	"	0.048	0.038
19	"	—	0.038
20	"	0.038	—
21	桁 T R	0.028	—
22	"	0.028	—
23	"	—	—
24	"	0.038	—
25	"	—	—
26	"	0.028	—
27	"	0.038	—
28	"	—	—
29	"	0.038	—
30	"	—	0.038
平 均		0.040	0.041

注) L G は橋軸方向の水平, T R は橋軸直角方向の水平を意味する。



図一 4.3 (1) 鉛直加振共振試験より得られる振動モード(1)

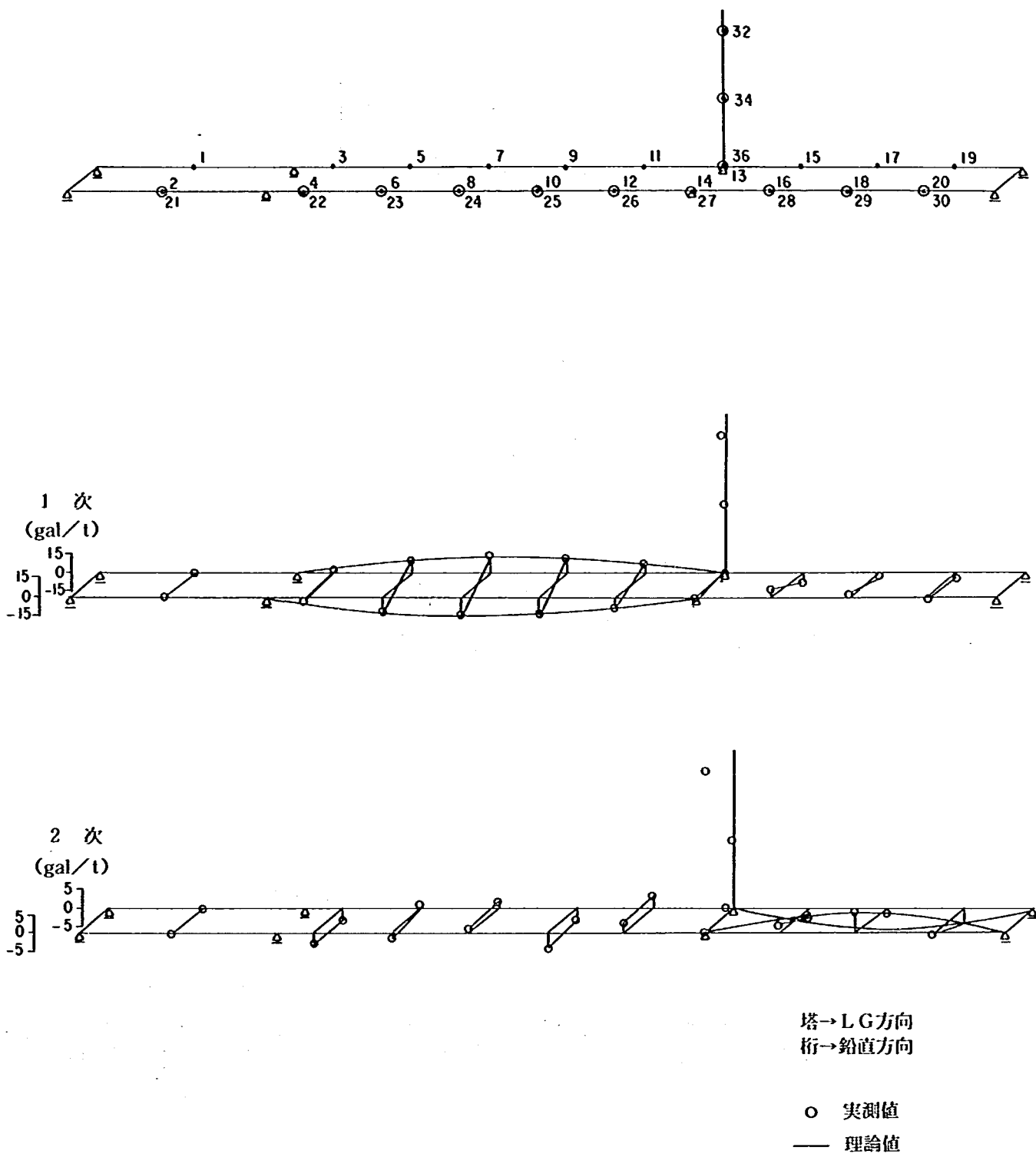
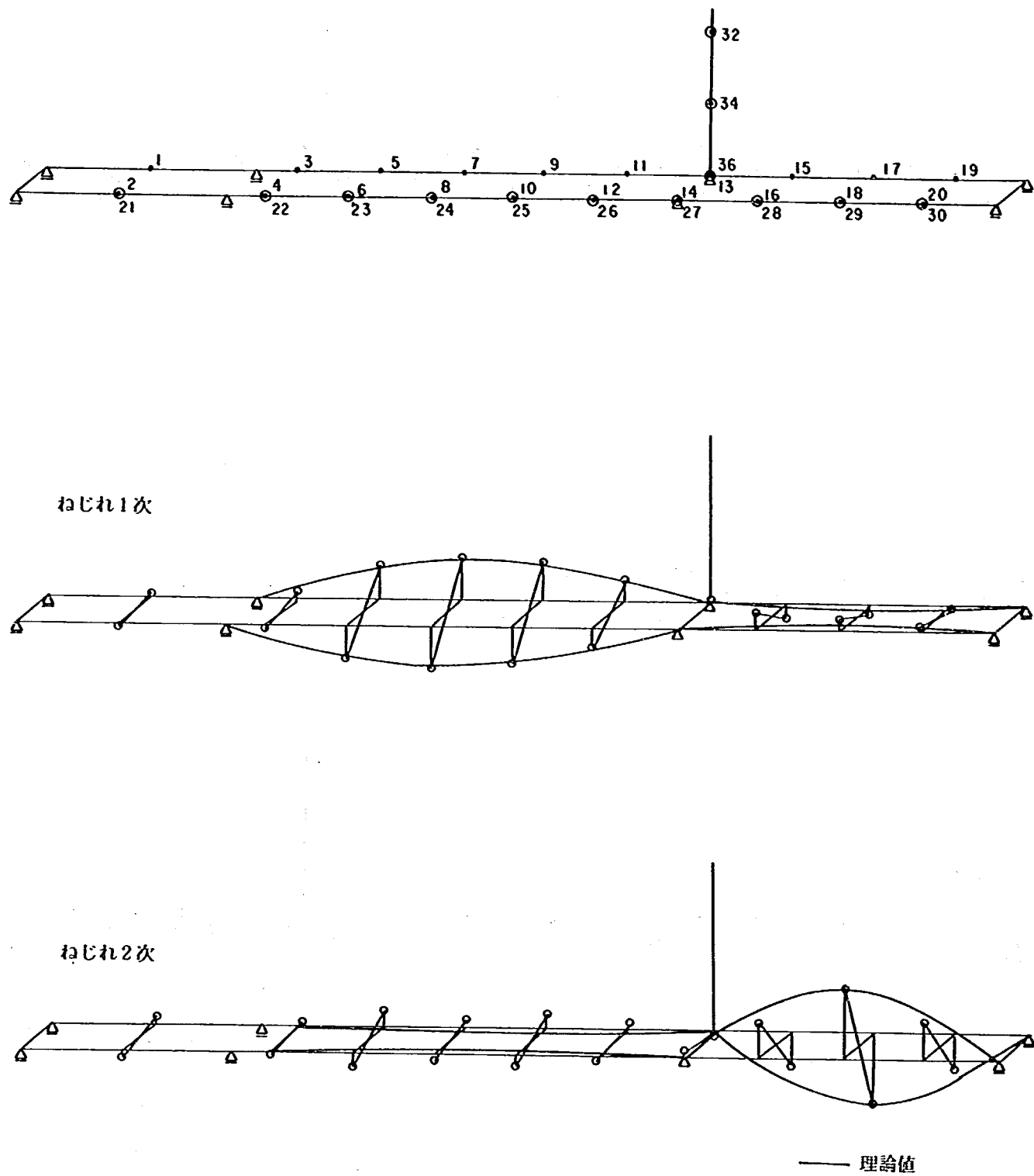
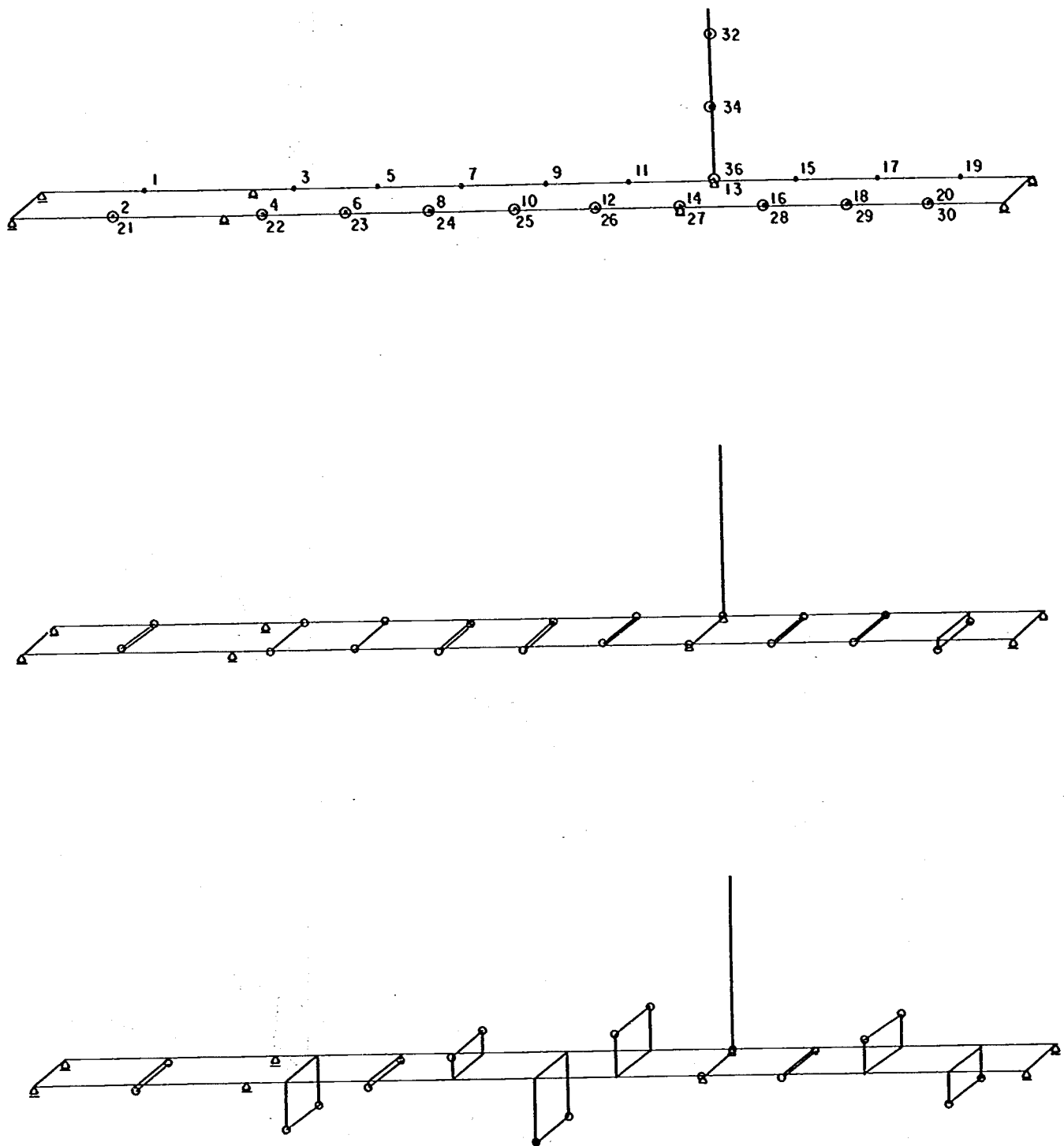


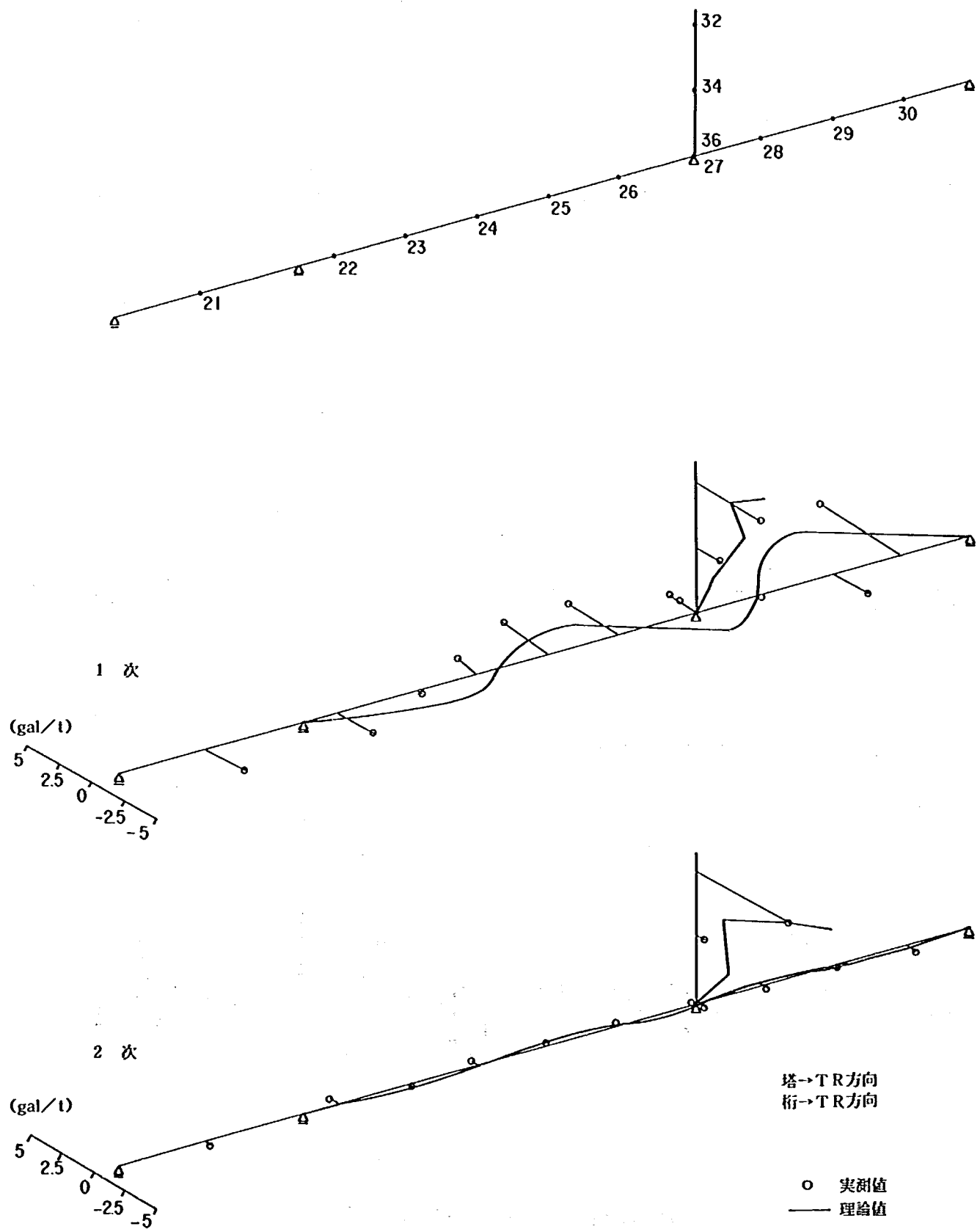
図-4.3(2) ねじれ方向加振共振試験より得られる振動モード(2)



図一 4.3 (3) ねじれ方向加振共振試験より得られる振動モード
(実測値から鉛直成分除去) (3)



図一4.3(4) ねじれ方向加振共振試験より得られる振動モード
(鉛直成分) (4)



図—4.3(5) ねじれ方向加振共振試験より得られる振動モード(5)

4.3 自由減衰試験結果

表—4.3 自由減衰試験より得られた対数減衰率 δ を示す。

表—4.3 自由減衰試験より得られる対数減衰率 δ

	鉛直たわみ	ね じ れ
1 次	0.010 (0.008 ~ 0.012)	0.010 (0.002 ~ 0.018)
2 次	0.018 (0.015 ~ 0.021)	0.027 (0.018 ~ 0.035)
3 次	0.048 (0.041 ~ 0.054)	—
4 次	0.058 (0.039 ~ 0.064)	—

又、表—4.4 に減衰率の集計表を、付録に代表点の減衰率算定グラフを示す。

4.4 常時微動測定結果

表—4.5 に常時微動のパワースペクトルより得られた固有振動数及び対数減衰率をとりまとめた。

又、表—4.6 には対数減衰率算定の集計表、図—4.4 には代表点におけるパワースペクトルを示す。

さらに、図—4.5 に常時微動のパワースペクトルより得た振幅を用いて作成した微動モード図を示した。但し、パワースペクトルからは得られない位相特性に関しては、共振試験の結果を利用し判定した。

振幅値の正規化は、次式による

$$\text{正規化したモード値} = \frac{\text{パワースペクトル振幅値}}{\text{各次数のパワースペクトル振幅値の最大}}$$

なお、常時微動スペクトル図には、1.099Hz近くの0.891Hzに優勢なピークが見られる。参考のために、図—4.6 にモード図を示した。これは1.099Hzのモード図とほぼ同じものとなった。

表— 4.4 (1) 自由減衰試験結果 1 次 (鉛直加振)

pick		回 f	1 1.10 (Hz)	2 1.10 (Hz)	3 1.10 (Hz)	4 1.10 (Hz)	5 1.10 (Hz)	平 均
22	塔 頂 L G 方 向		0.0078	0.0080	0.0111	0.0096	0.0090	0.0091
23	塔 中 間 L G 方 向		0.0088	0.0097	0.0135	0.0113	0.0079	0.0102
2	P ₃ - P ₄ 支間 桁 $\frac{2}{5}$ 点		0.0106	0.0069	0.0113	0.0118	0.0116	0.0104
9	P ₄ - P ₅ 支間 桁 $\frac{1}{2}$ 点		0.0101	0.0090	0.0085	0.0116	0.0093	0.0097
10	P ₄ - P ₅ 支間 桁 $\frac{1}{2}$ 点		0.0096	0.0082	0.0114	0.0118	0.0074	0.0097
18	P ₅ - P ₅ 支間 桁 $\frac{1}{2}$ 点		0.0082	0.0129	0.0116	0.0101	0.0098	0.0105
19	P ₅ - P ₆ 支間 桁 $\frac{3}{8}$ 点		0.0111	0.0106	0.0112	0.0119	0.0101	0.0110
(20) ケーブル No10	P ₆ 側 最 外 端 ケーブル面内		—	0.0072	0.0101	0.0123	0.0090	0.0097
(21) ケーブル No10	P ₆ 側 最 外 端 ケーブル面外		—	0.0090	※	※	※	0.0090
平 均			0.0095	0.0090	0.0111	0.0113	0.0093	0.0100

※ 読み取り不能

表一 4.4 (2) 自由減衰試験結果 2 次 (鉛直加振)

pick	回 f	1	2	3	4	5	平 均
		1.86 (Hz)	1.86 (Hz)	1.86 (Hz)	1.86 (Hz)	1.86 (Hz)	
22	塔 頂 L G 方向	$\delta_1 = 0.0184$ $\delta_2 = 0.0062$ $\delta_3 = 0.0253$ (0.0166)	$\delta_2 = 0.0083$ $\delta_3 = 0.0265$ (0.0174)	$\delta_1 = 0.0141$ $\delta_2 = 0.0046$ $\delta_3 = 0.0236$ (0.0141)	$\delta_1 = 0.0182$ $\delta_2 = 0.0059$ $\delta_3 = 0.0270$ (0.0170)	$\delta_1 = 0.0276$ $\delta_2 = 0.0058$ $\delta_3 = 0.0241$ (0.0192)	0.0169
23	塔 中 間 L G 方向	$\delta_1 = 0.0214$ $\delta_2 = 0.0084$ $\delta_3 = 0.0265$ (0.0188)	$\delta_2 = 0.0101$ $\delta_3 = 0.0267$ (0.0184)	$\delta_1 = 0.0165$ $\delta_2 = 0.0052$ $\delta_3 = 0.0238$ (0.0152)	$\delta_2 = 0.0091$ $\delta_3 = 0.0260$ (0.0176)	$\delta_2 = 0.0076$ $\delta_3 = 0.0254$ (0.0165)	0.0173
7	P ₄ - P ₅ 支間 桁 $\frac{1}{4}$ 点	$\delta_1 = 0.0253$ $\delta_2 = 0.0023$ $\delta_3 = 0.0337$ (0.0204)	$\delta_2 = 0.0052$ $\delta_4 = 0.0327$ (0.0190)	$\delta_1 = 0.0219$ $\delta_2 = 0.0005$ $\delta_3 = 0.0324$ (0.0183)	$\delta_1 = 0.0187$ $\delta_2 = 0.0007$ $\delta_3 = 0.0361$ (0.0185)	$\delta_1 = 0.0253$ $\delta_2 = 0.0016$ $\delta_3 = 0.0336$ (0.0202)	0.0193
13	P ₄ - P ₅ 支間 桁 $\frac{1}{5}$ 点	$\delta_1 = 0.0220$ $\delta_2 = 0.0083$ $\delta_3 = 0.0266$ (0.0190)	$\delta_2 = 0.0151$ $\delta_2 = 0.0225$ (0.0188)	$\delta_1 = 0.0098$ $\delta_2 = 0.0245$ (0.0172)	$\delta_2 = 0.0103$ $\delta_3 = 0.0283$ (0.0193)	$\delta_2 = 0.0100$ $\delta_3 = 0.0259$ (0.0180)	0.0185
18	P ₅ - P ₆ 支間 桁 $\frac{1}{2}$ 点	$\delta_1 = 0.0223$ $\delta_2 = 0.0031$ $\delta_3 = 0.0311$ (0.0188)	$\delta_2 = 0.0056$ $\delta_3 = 0.0319$ (0.0188)	$\delta_1 = 0.0158$ $\delta_2 = 0.0021$ $\delta_3 = 0.0308$ (0.0162)	$\delta_1 = 0.0194$ $\delta_2 = 0.0033$ $\delta_3 = 0.0339$ (0.0189)	$\delta_1 = 0.0248$ $\delta_2 = 0.0031$ $\delta_3 = 0.0311$ (0.0197)	0.0185
19	P ₅ - P ₆ 支間 桁 $\frac{3}{8}$ 点	$\delta_1 = 0.0263$ $\delta_2 = 0.0029$ $\delta_3 = 0.0324$ (0.0205)	$\delta_1 = 0.0143$ $\delta_2 = 0.0070$ $\delta_3 = 0.0314$ (0.0176)	$\delta_1 = 0.0154$ $\delta_2 = 0.0006$ $\delta_3 = 0.0317$ (0.0159)	$\delta_2 = 0.0052$ $\delta_3 = 0.0334$ (0.0193)	$\delta_1 = 0.0258$ $\delta_2 = 0.0026$ $\delta_3 = 0.0303$ (0.0196)	0.0186
(1) ケーブル No11	P ₃ 側 最 外 端 ケーブル面内	$\delta_1 = 0.0246$ $\delta_2 = 0.0028$ $\delta_3 = 0.0271$ (0.0182)	$\delta_1 = 0.0033$ $\delta_2 = 0.0358$ (0.0196)	$\delta_1 = 0.0088$ $\delta_2 = 0.0041$ $\delta_3 = 0.0334$ (0.0154)	$\delta_1 = 0.0127$ $\delta_2 = 0.0039$ $\delta_3 = 0.0367$ (0.0178)	$\delta_1 = 0.0232$ $\delta_2 = 0.0046$ $\delta_3 = 0.0334$ (0.0204)	0.0183
(2) ケーブル No11	P ₃ 側 最 外 端 ケーブル面外	$\delta_1 = 0.0215$ $\delta_2 = 0.0025$ $\delta_3 = 0.0355$ (0.0198)	$\delta_1 = 0.0048$ $\delta_2 = 0.0342$ (0.0195)	$\delta_1 = 0.0088$ $\delta_2 = 0.0026$ $\delta_3 = 0.0335$ (0.0150)	$\delta_1 = 0.0146$ $\delta_2 = 0.0056$ $\delta_3 = 0.0371$ (0.0191)	$\delta_1 = 0.0219$ $\delta_2 = 0.0045$ $\delta_3 = 0.0331$ (0.0198)	0.0186
平 均		0.0190	0.0186	0.0159	0.0184	0.0192	0.0182

表—4.4(3) 自由減衰試驗結果3次(鉛直加振)

pick		回 f	1 2.38 (Hz)	2 2.38 (Hz)	3 2.38 (Hz)	4 2.38 (Hz)	5 2.38 (Hz)	平 均
22	塔 頂 L G 方 向		0.0540	0.0523	0.0538	0.0530	0.0518	0.0530
23	塔 中 間 L G 方 向		0.0499	0.0486	0.0497	0.0520	0.0500	0.0500
2	P ₃ - P ₄ 支間 桁 $\frac{2}{5}$ 点		0.0509	0.0524	0.0468	0.0518	0.0485	0.0501
6	P ₄ - P ₅ 支間 桁 $\frac{1}{5}$ 点		0.0478	0.0438	0.0465	0.0483	0.0472	0.0467
12	P ₄ - P ₅ 支間 桁 $\frac{1}{4}$ 点		0.0466	0.0472	0.0457	0.0474	0.0459	0.0466
18	P ₅ - P ₆ 支間 桁 $\frac{1}{2}$ 点		0.0467	0.0469	0.0456	0.0452	0.0408	0.0450
19	P ₅ - P ₆ 支間 桁 $\frac{3}{8}$ 点		0.0444	0.0455	0.0434	0.0469	0.0434	0.0447
平 均			0.0486	0.0481	0.0474	0.0492	0.0468	0.0480

表一 4.4 (4) 自由減衰試驗結果 4 次 (鉛直加振)

pick		回 f	1	2	3	4	5	平 均
			3.22 (Hz)	3.22 (Hz)	3.22 (Hz)	3.22 (Hz)	3.22 (Hz)	
22	塔 頂 L G 方向		$\delta_1 = 0.0588$ $\delta_2 = 0.1008$ $\delta_3 = 0.0199$ (0.0598)	$\delta_1 = 0.0466$ $\delta_2 = 0.0970$ $\delta_3 = 0.0345$ (0.0594)	$\delta_1 = 0.0562$ $\delta_2 = 0.0923$ $\delta_3 = 0.0210$ (0.0565)	$\delta_1 = 0.0459$ $\delta_2 = 0.0990$ $\delta_3 = 0.0150$ (0.0533)	$\delta_1 = 0.0498$ $\delta_2 = 0.1004$ $\delta_3 = 0.0130$ (0.0544)	0.0567
23	塔 中 間 L G 方向		$\delta_1 = 0.0587$ $\delta_2 = 0.0954$ $\delta_3 = 0.0166$ (0.0569)	$\delta_1 = 0.0429$ $\delta_2 = 0.0948$ $\delta_3 = 0.0349$ (0.0575)	$\delta_1 = 0.0496$ $\delta_2 = 0.0889$ $\delta_3 = 0.0406$ (0.0597)	$\delta_1 = 0.0465$ $\delta_2 = 0.0953$ $\delta_3 = 0.0158$ (0.0525)	$\delta_1 = 0.0507$ $\delta_2 = 0.0969$ $\delta_3 = 0.0193$ (0.0556)	0.0564
2	P ₃ - P ₄ 支間 桁 $\frac{2}{5}$ 点		$\delta_1 = 0.0616$ $\delta_2 = 0.1041$ $\delta_3 = 0.0209$ (0.0622)	$\delta_1 = 0.0485$ $\delta_2 = 0.0984$ $\delta_3 = 0.0262$ (0.0577)	$\delta_1 = 0.0532$ $\delta_2 = 0.0936$ $\delta_3 = 0.0455$ (0.0641)	$\delta_1 = 0.0518$ $\delta_2 = 0.1009$ $\delta_3 = 0.0211$ (0.0579)	$\delta_1 = 0.0627$ $\delta_2 = 0.0958$ $\delta_3 = 0.0173$ (0.0586)	0.0601
7	P ₄ - P ₅ 支間 桁 $\frac{1}{4}$ 点		$\delta_1 = 0.0635$ $\delta_2 = 0.0945$ $\delta_3 = 0.0118$ (0.0566)	$\delta_1 = 0.0432$ $\delta_2 = 0.0910$ $\delta_3 = 0.0202$ (0.0515)	$\delta_1 = 0.0433$ $\delta_2 = 0.0831$ $\delta_3 = 0.0239$ (0.0501)	$\delta_1 = 0.0489$ $\delta_2 = 0.0809$ $\delta_3 = 0.0200$ (0.0499)	$\delta_1 = 0.0547$ $\delta_2 = 0.0903$ $\delta_3 = 0.0196$ (0.0549)	0.0526
12	P ₄ - P ₅ 支間 桁 $\frac{1}{4}$ 点		$\delta_1 = 0.0605$ $\delta_2 = 0.0988$ $\delta_3 = 0.0148$ (0.0580)	—	$\delta_1 = 0.0552$ $\delta_2 = 0.0869$ $\delta_3 = 0.0278$ (0.0566)	$\delta_1 = 0.0470$ $\delta_2 = 0.0887$ $\delta_3 = 0.0280$ (0.0546)	$\delta_1 = 0.0568$ $\delta_2 = 0.0937$ $\delta_3 = 0.0112$ (0.0539)	0.0558
15	P ₅ - P ₆ 支間 桁 $\frac{1}{8}$ 点		0.0617	$\delta_1 = 0.0344$ $\delta_2 = 0.0580$ $\delta_3 = 0.0263$ (0.0396)	0.0719	$\delta_1 = 0.0433$ $\delta_2 = 0.0627$ (0.0530)	$\delta_1 = 0.0441$ $\delta_2 = 0.0593$ $\delta_3 = 0.0130$ (0.0388)	0.0530
19	P ₅ - P ₆ 支間 桁 $\frac{3}{8}$ 点		—	—	—	0.0721	—	0.0721
平 均			0.0592	0.0531	0.0598	0.0562	0.0527	0.0581

(0.0562)

表一 4.4 (5) 自由減衰試驗結果 1 次 (ねじれ加振)

pick		回 f	1 4.13 (Hz)	2 4.13 (Hz)	3 4.13 (Hz)	4 4.13 (Hz)	5 4.13 (Hz)	平 均
32	塔 頂 T R 方 向		0.0144	0.0133	0.0125	0.0148	0.0170	0.0144
31	塔 頂 L G 方 向		0.0072	0.0118	0.0120	0.0124	0.0143	0.0115
7	P ₄ -P ₅ 支間 桁鉛直 $\frac{1}{2}$ 点方 向		0.0116	0.0131	0.0093	0.0111	0.0153	0.0121
8	"		0.0048	0.0037	0.0020	0.0100	0.0127	0.0066
9	P ₄ -P ₅ 支間 桁鉛直 $\frac{2}{5}$ 点方 向		0.0086	0.0103	0.0087	0.0130	0.0144	0.0110
10	"		0.0086	0.0053	0.0034	0.0065	0.0120	0.0072
11	P ₄ -P ₅ 支間 桁鉛直 $\frac{1}{5}$ 点方 向		0.0061	—	—	—	—	0.061
12	"		0.0077	0.0146	0.0154	0.0138	0.0181	0.0139
13	塔 位 置 桁鉛直方 向		0.0071	0.0078	0.0063	0.0110	0.0139	0.0092
14	"		0.0060	0.0068	0.0078	0.0113	0.0136	0.0091
25	P ₄ -P ₅ 支間 桁 T R $\frac{2}{5}$ 点方 向		0.0070	0.0074	0.0087	0.0096	0.0179	0.0101
26	P ₄ -P ₅ 支間 桁 T R $\frac{1}{5}$ 点方 向		0.0064	0.0067	0.0072	0.0065	0.0126	0.0079
平 均			0.0079	0.0091	0.0084	0.0109	0.0148	0.0102

表一 4.4 (6) 自由減衰試験結果 2 次 (ねじれ加振)

pick		回 f	1 6.23 (Hz)	2 6.23 (Hz)	3 6.23 (Hz)	4 6.23 (Hz)	5 6.23 (Hz)	平 均
32	塔 頂 T R 方 向		0.0302	0.0299	0.0327	0.0342	0.0314	0.0317
31	塔 頂 L G 方 向		0.0254	0.0317	0.0332	0.0338	0.0309	0.0310
7	P ₄ -P ₅ 支間 桁 鉛 直 方 向 $\frac{1}{2}$ 点 向		0.0282	0.0271	0.0282	0.0345	0.0306	0.0297
8	"		-	-	-	-	-	-
9	P ₄ -P ₅ 支間 桁 鉛 直 方 向 $\frac{2}{5}$ 点 向		0.0270	0.0274	0.0291	0.0262	0.0261	0.0272
10	"		0.0254	0.0302	0.0320	0.0348	0.0349	0.0315
15	P ₅ -P ₆ 支間 桁 鉛 直 方 向 $\frac{1}{4}$ 点 向		0.0260	0.0253	0.0237	0.0253	0.0255	0.0252
16	"		0.0296	0.0240	0.0220	0.0262	0.0277	0.0259
17	P ₅ -P ₆ 支間 桁 鉛 直 方 向 $\frac{1}{2}$ 点 向		0.0282	0.0175	0.0175	0.0136	0.0204	0.0194
18	"		0.0311	0.0301	0.0245	$\delta_1 = 0.0210$ $\delta_2 = 0.0330$ (0.0270)	0.0276	0.0281
24	P ₄ -P ₅ 支間 桁 T R 方 向 $\frac{1}{2}$ 点 向		0.0276	0.0227	0.0242	0.0233	0.0226	0.0241
29	P ₅ -P ₆ 支間 桁 T R 方 向 $\frac{1}{2}$ 点 向		0.0318	0.0258	$\delta_1 = 0.0125$ $\delta_2 = 0.0251$ (0.0188)	0.0285	0.0300	0.0270
平 均			0.0282	0.0265	0.0260	0.0279	0.0280	0.0273

表-4.5 常時微動のパワースペクトルより得られる固有振動数及び対数減衰率

	振動数 (Hz)	δ (1)	δ (2)
たわみ 1 次	0.891 ~ 1.099	0.115	0.028
" 2 次	1.831	0.068	0.020
" 3 次	2.423 ~ 2.441	0.064	0.016
" 4 次	—	—	—
ねじれ 1 次	4.059 ~ 4.132	0.046	0.011
" 2 次	—	—	—

δ : 対数減衰率

注) (1)は, ハミングウィンドを10回使用
(2)は, ウィンド処理なし

表— 4.6 (1) 常時微動より得られる対数減衰率（ねじれ加振計測位置）
（ハミングウィンド10回使用）

pick	次数 f	たわみ 1 次	たわみ 2 次	たわみ 3 次	たわみ 4 次	ねじれ 1 次	ねじれ 2 次
		1.080~1.099 (Hz)	1.831 (Hz)	2.423~2.441 (Hz)	不明確	4.059~4.132 (Hz)	不明確
31	塔 L G	0.114	0.068	—	—	—	—
33	"	0.116	—	—	—	—	—
35	"	—	—	0.052	—	0.046	—
32	塔 T R	0.114	0.069	—	—	0.046	—
34	"	0.116	—	—	—	—	—
36	"	0.116	—	—	—	—	—
1	桁鉛直	—	—	0.065	—	—	—
2	"	—	—	0.065	—	—	—
3	"	—	—	0.065	—	—	—
4	"	—	—	0.065	—	—	—
5	"	0.114	0.069	0.065	—	—	—
6	"	0.114	0.069	0.065	—	—	—
7	"	0.114	0.068	0.077	—	—	—
8	"	0.114	0.068	—	—	—	—
9	"	0.114	0.068	0.065	—	—	—
10	"	0.114	—	0.065	—	—	—
11	"	0.114	0.068	0.065	—	0.046	—
12	"	0.114	0.068	0.065	—	0.046	—
13	"	0.116	—	—	—	—	—
14	"	0.116	—	—	—	—	—
15	"	—	0.068	—	—	0.046	—
16	"	—	0.068	—	—	0.046	—
17	"	—	0.068	—	—	—	—
18	"	—	0.068	—	—	—	—
19	"	—	0.068	—	—	—	—
20	"	—	—	—	—	—	—
21	桁 T R	—	—	0.052	—	—	—
22	"	—	—	—	—	—	—
23	"	—	—	—	—	—	—
24	"	—	—	—	—	—	—
25	"	—	—	—	—	—	—
26	"	0.116	—	—	—	—	—
27	"	0.116	—	—	—	—	—
28	"	—	—	—	—	—	—
29	"	—	—	—	—	—	—
30	"	—	0.068	—	—	0.046	—
平	均	0.115	0.068	0.064	—	0.046	—

注) L Gは橋軸方向の水平, T Rは橋軸直角方向の水平を意味する。

表— 4.6 (2) 常時微動より得られる対数減衰率 (ねじれ加振計測位置)
(ウィンド処理なし)

pick	次数 f	たわみ 1 次	たわみ 2 次	たわみ 3 次	たわみ 4 次	ねじれ 1 次	ねじれ 2 次
		1.080~1.099 (Hz)	1.831 (Hz)	2.423~2.441 (Hz)	不明確	4.059~4.132 (Hz)	不明確
31	塔 L G	0.017	0.010	—	—	—	—
33	"	0.046	—	—	—	—	—
35	"	—	0.013	—	—	0.018	—
32	塔 T R	0.017	0.010	—	—	—	—
34	"	0.041	—	—	—	—	—
36	"	0.046	—	—	—	—	—
1	桁鉛直	—	—	0.013	—	—	—
2	"	—	0.045	0.013	—	—	—
3	"	—	—	0.013	—	—	—
4	"	—	—	0.017	—	—	—
5	"	0.017	0.031	—	—	—	—
6	"	0.017	0.017	—	—	—	—
7	"	0.017	0.045	—	—	—	—
8	"	0.017	0.028	—	—	—	—
9	"	0.017	0.010	0.017	—	—	—
10	"	0.017	—	0.013	—	—	—
11	"	0.023	0.010	0.016	—	0.009	—
12	"	0.017	0.010	0.034	—	0.009	—
13	"	0.046	—	—	—	—	—
14	"	0.046	—	—	—	—	—
15	"	—	0.014	—	—	0.009	—
16	"	—	0.021	—	—	0.009	—
17	"	—	0.017	—	—	—	—
18	"	—	0.024	—	—	—	—
19	"	—	0.017	—	—	—	—
20	"	—	—	—	—	—	—
21	桁 T R	—	—	0.008	—	—	—
22	"	—	—	—	—	—	—
23	"	—	—	—	—	—	—
24	"	—	—	—	—	—	—
25	"	—	—	—	—	—	—
26	"	0.041	—	—	—	—	—
27	"	0.029	—	—	—	—	—
28	"	—	—	—	—	—	—
29	"	—	—	—	—	—	—
30	"	—	0.017	—	—	0.009	—
平	均	0.028	0.020	0.016	—	0.011	—

注) L G は橋軸方向の水平, T R は橋軸直角方向の水平を意味する。

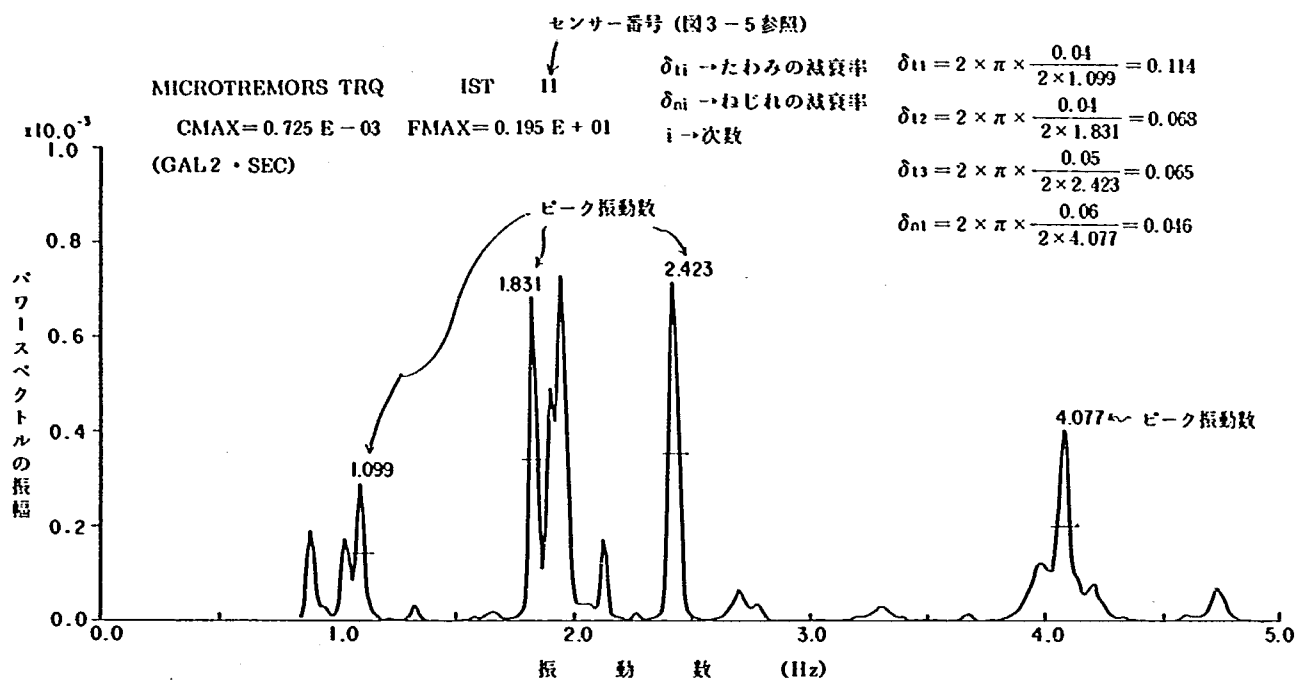


図-4.4(1) 常時微動のパワースペクトル (ウインド処理10回)

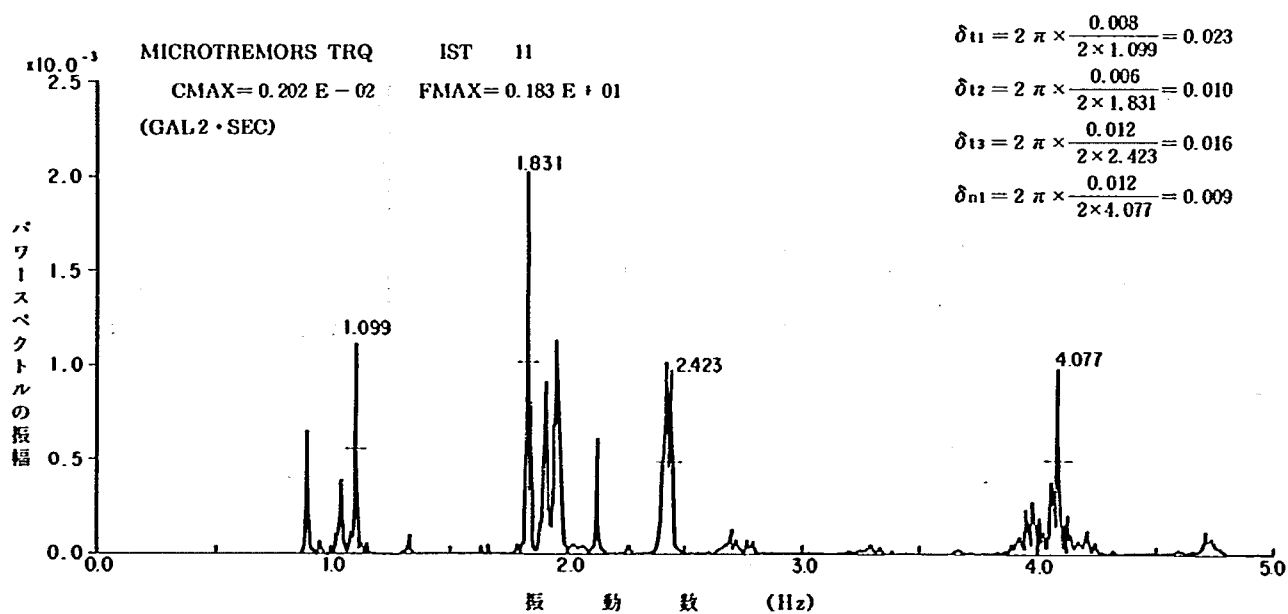
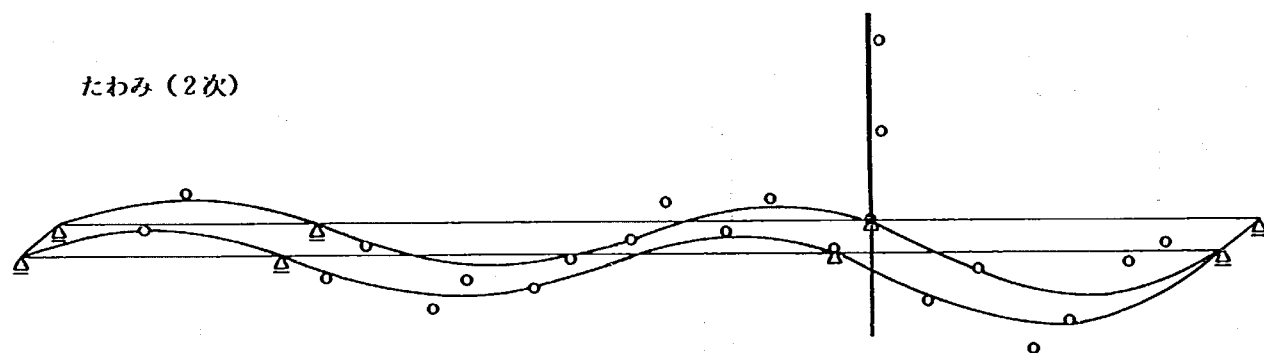
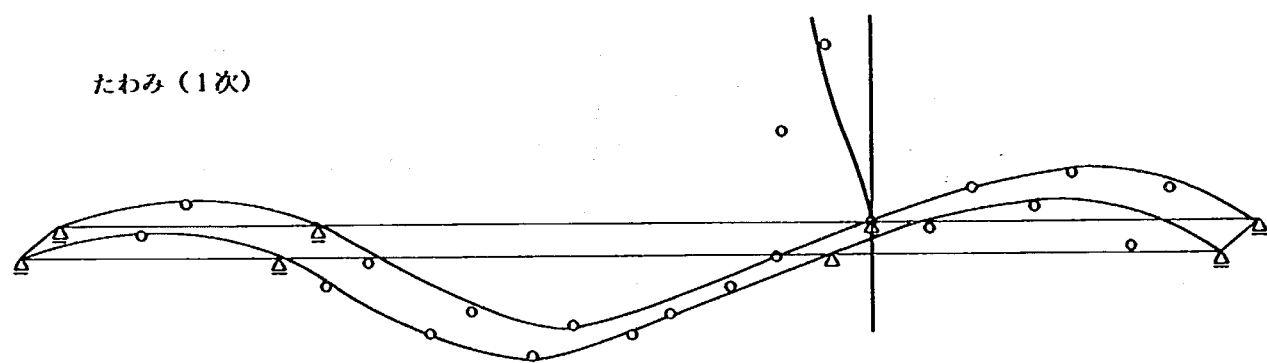
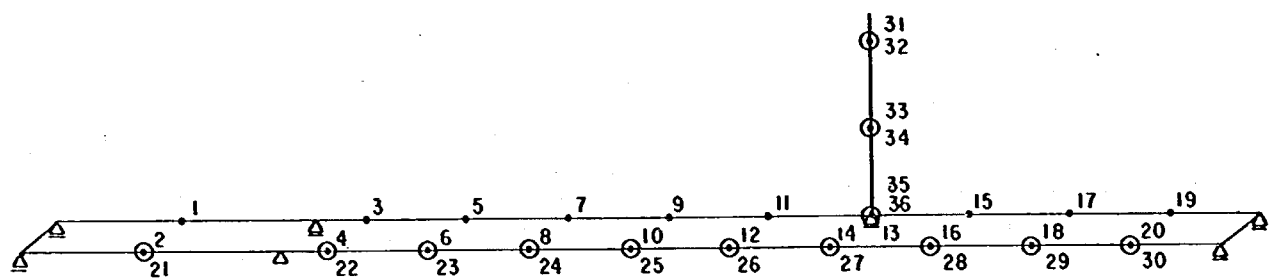
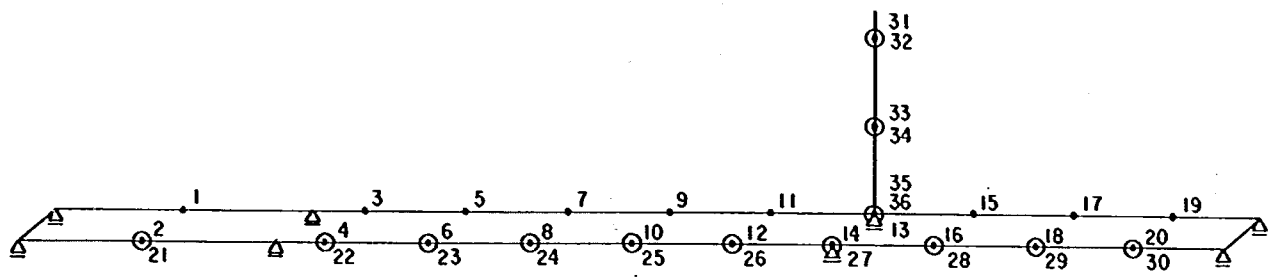


図-4.4(2) 常時微動のパワースペクトル (ウインド処理なし)

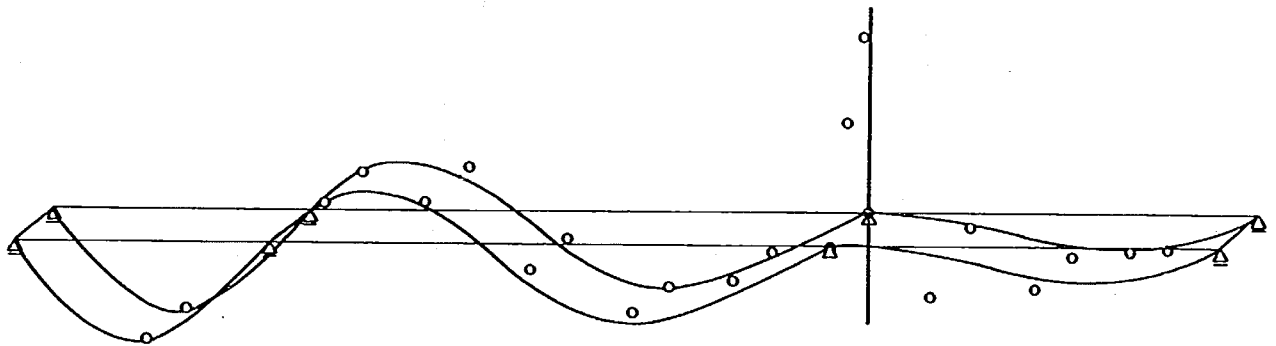


○ 実測値
— 理論値

図-4.5 (1) 常時微動から推定される推動モード(1)



たわみ (3次)



ねじれ (1次)

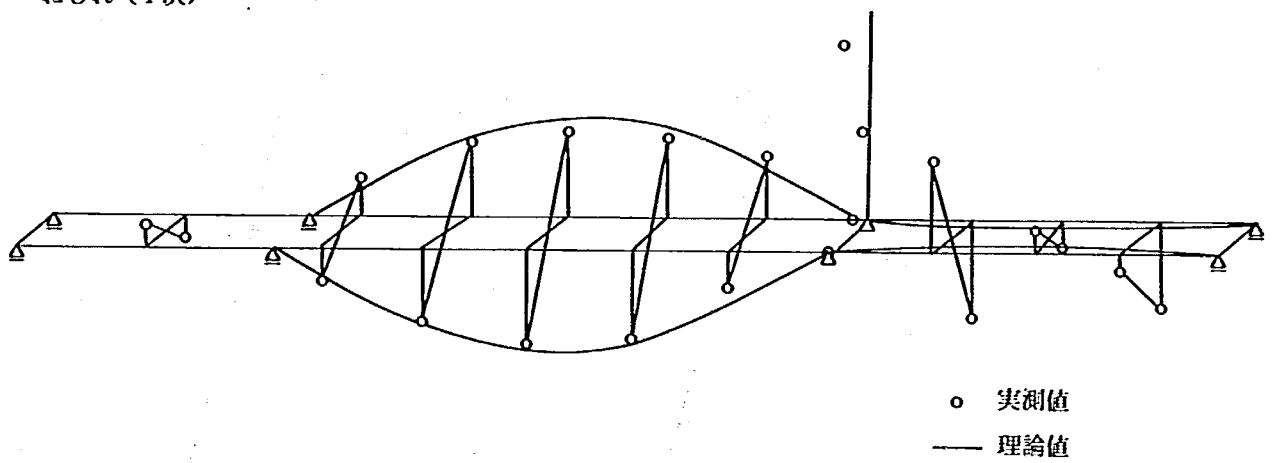


図-4.5(2) 常時微動から推定される推動モード(2)

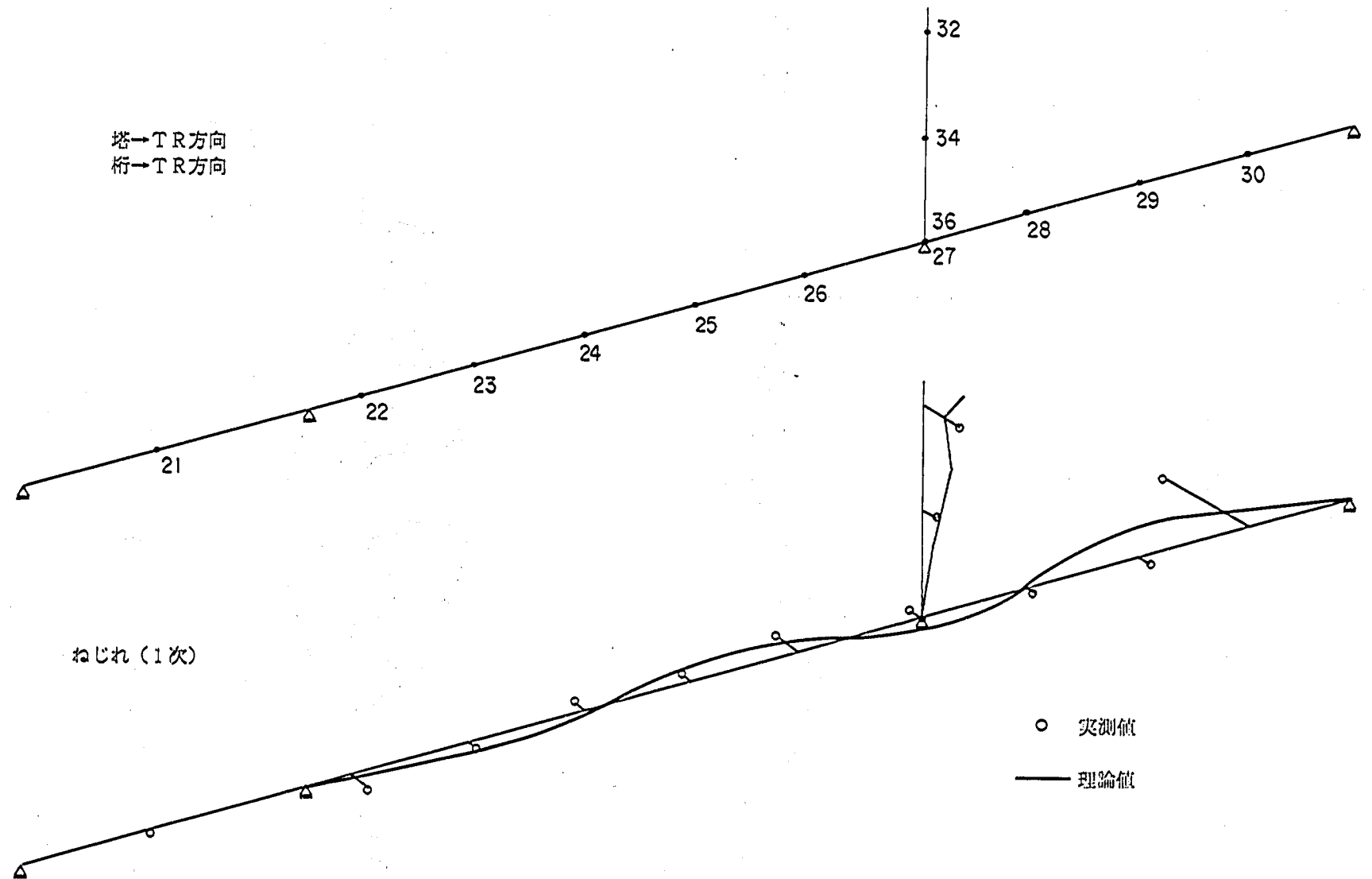
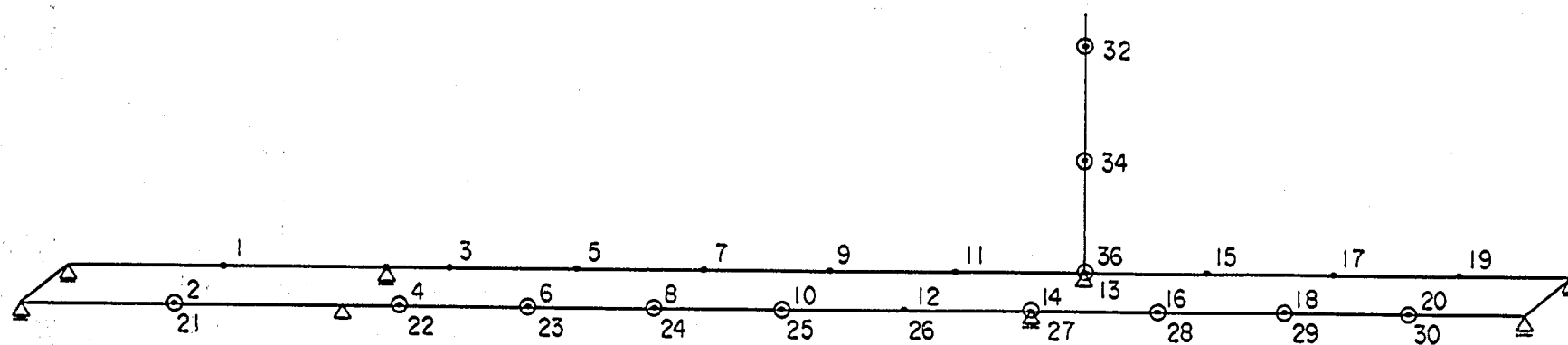


図-4.5(3) 常時微動から推定される振動モード(3)



たわみ (1次) $F = 0.891 \text{ (Hz)}$

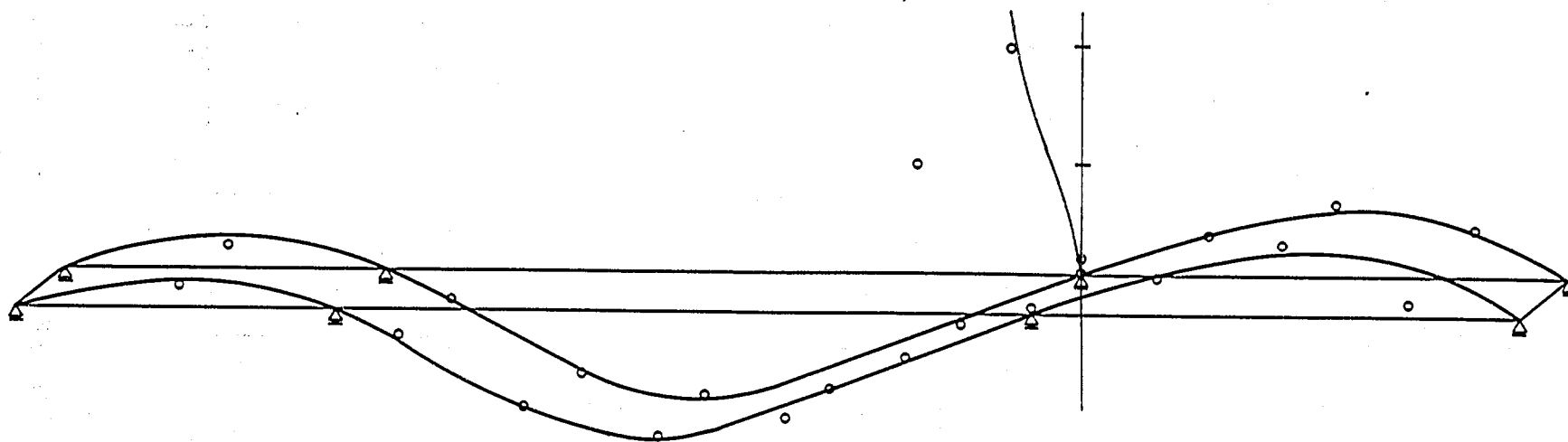


図-4.6 常時微動から推定される振動モード(4)

5. 考 察

5.1 振動の特徴

今回の振動実験では斜張橋に特徴的な振動性状が観測された。すなわち、桁の振動時にあるケーブルが顕著に振動した事である。

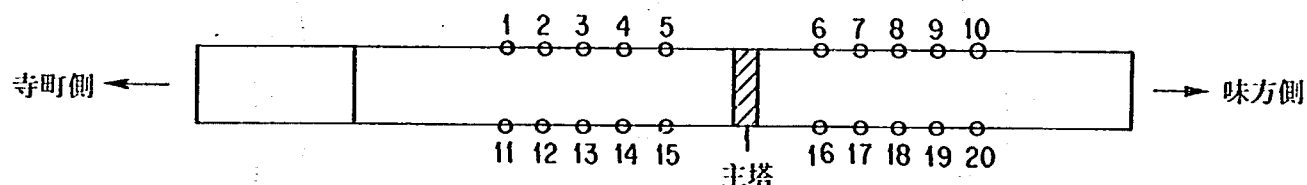
表－5.1 に現地で確認したケーブルの振動状況を示す。確認した状況を総括すると、まず桁の低次モードが出現するのと同じ様な振動数で、ケーブルもよく振動したと言える。又、振動数を変化させるのにもなって、入れかわり立ちかわり別のケーブルが振動する様な状況が認められた。全般にケーブルが振動し易く、ケーブルが振動する為に橋桁に対し十分な加振ができず、小さな振幅範囲にとどまった。

表－5.1 ケーブルの振動状況

(○→振動あり、×→振動なし、ブランク→未確認)

ケーブルNo モード 振動数(Hz)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
たわみ1次	1.10	×	×	×	×	×	×	×	×	0.1 ○	0.5 ○	×	×	×	0.1 ○	×	×	×	×	×	×
2次	1.86	0.1 ○	×	×	×	×	×	×	×	×	0.1 ○	0.5 ○	×	×	×	×	×	×	×	×	0.1 ○
3次	2.38	×	0.1 ○	0.1 ○	0.1 ○	0.5 ○	0.5 ○	×	×	×	×	×	0.1 ○	0.1 ○	0.1 ○	0.5 ○	0.5 ○	×	×	×	×
4次	3.22	×	×	×	0.1 ○	×	×	0.2 ○	×	0.2 ○	×	×	×	0.1 ○	0.2 ○	×	×	×	×	0.1 ○	×
ねじれ1次	4.13																				
2次	6.23																				

注) 数字は直径に対してどの程度の振幅であることを示す。



鉛直たわみ1次および2次モードを対象とした実験ケースでは、それぞれ振動が顕著であったケーブルNo10とNo11とに加速度計を取りつけケーブルの振動も同時に計測した。図－5.1 にその自由減衰波形を示す。これらの波形をみると、たわみ1次ではなめらかな自由減衰波形であるのに対し、たわみ2次ではうなりが生

じているのが認められる。しかし、桁、塔、ケーブルの間でエネルギーのやりとりをする様な状態は生じていない。^{注)} ケーブルの波形に着目するとその最大値は、1次では面内 3.6 gal に対して面外 1.5 gal, 2次では面内 48.4 gal に対して面外 7.8 gal であり、目視でも確認できた様に面内振動とともに、面外振動が生じていることがわかる。

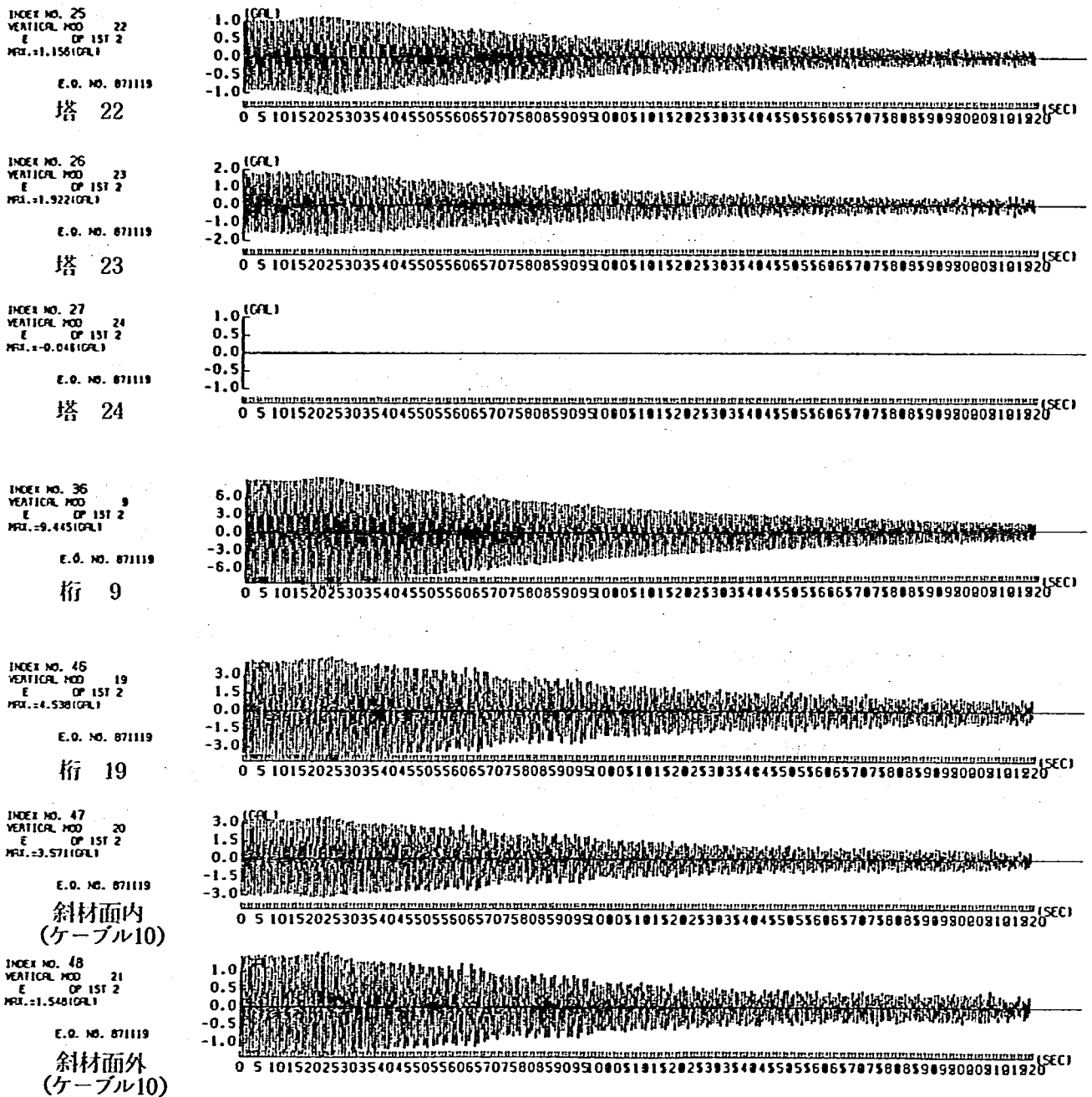
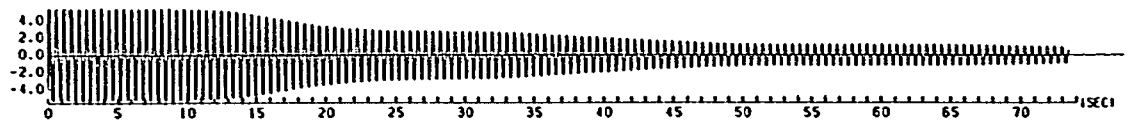


図-5.1(1) 自由減衰波形 (たわみ1次)

注) 名港西大橋の振動実験結果³⁾によると、共振時と桁にケーブルの共振が観測され、減衰過程において桁とケーブルの減衰率の違いからエネルギーのやりとり、すなわちビート現象が特徴的現象として認められたと報告されている。

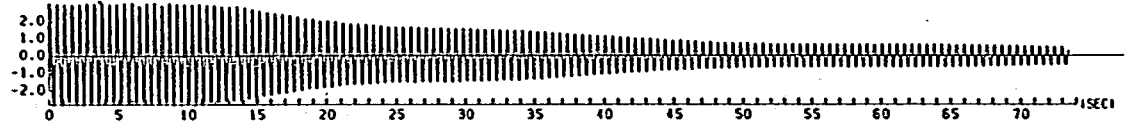
INDEX NO. 73
VERTICAL MOD 22
E OF 251.1
MSL. +5.132 (GAL)

E.O. NO. 871119
塔 22



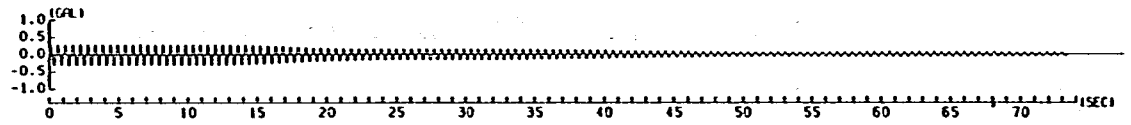
INDEX NO. 74
VERTICAL MOD 23
E OF 251.1
MSL. +3.086 (GAL)

E.O. NO. 871119
塔 23



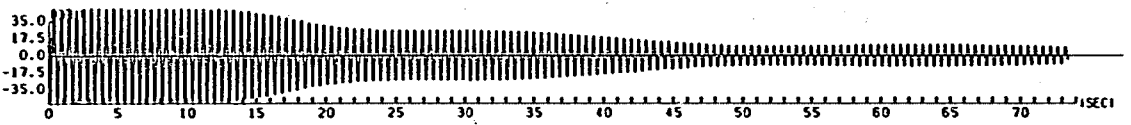
INDEX NO. 75
VERTICAL MOD 24
E OF 251.1
MSL. +0.312 (GAL)

E.O. NO. 871119
塔 24



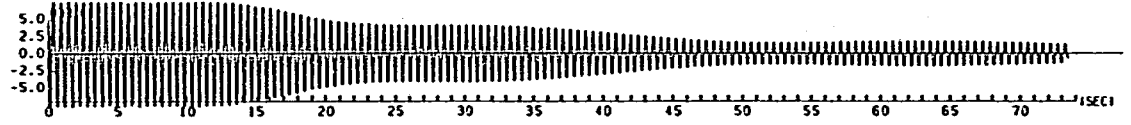
INDEX NO. 76
VERTICAL MOD 1
E OF 251.1
MSL. +48.393 (GAL)

E.O. NO. 871119
斜材面内
(ケーブル11)



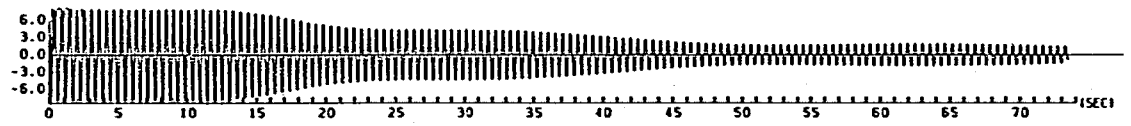
INDEX NO. 77
VERTICAL MOD 2
E OF 251.1
MSL. +7.751 (GAL)

E.O. NO. 871119
斜材面外
(ケーブル11)



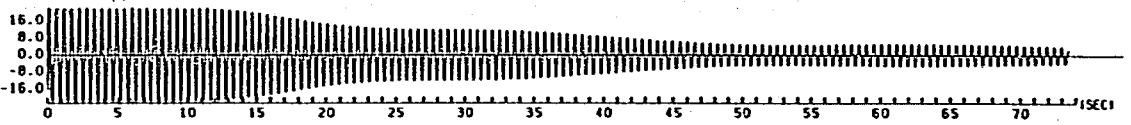
INDEX NO. 78
VERTICAL MOD 3
E OF 251.1
MSL. +8.120 (GAL)

E.O. NO. 871119
桁 3



INDEX NO. 92
VERTICAL MOD 17
E OF 251.1
MSL. +22.005 (GAL)

E.O. NO. 871119
桁 17



INDEX NO. 82
VERTICAL MOD 7
E OF 251.1
MSL. +15.493 (GAL)

E.O. NO. 871119
桁 7

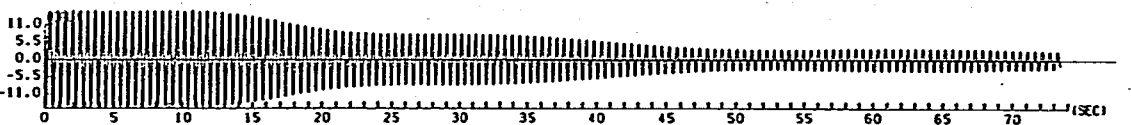


図-5.1(2) 自由減衰波形 (たわみ2次)

5.2 固有振動数

表－5.2 に起振機実験より求められた固有振動数の測定値、常時微動のスペクトル解析から求められた固有振動数の測定値および第3章に示した数値解析より得られた固有振動数の推定値（基本ケース）を比較して示した。

表－5.2 の常時微動から得られたたわみ1次振動の固有振動数は0.891～1.099 Hzと範囲で示した。これはこの範囲にスペクトル図で3つのピークが認められ、後述するように桁の振動モードも0.891 Hzと1.009 Hzとではほぼ一致したためである。その中の最大ピークに対応する振動数は1.099 Hzであり、これは共振試験から得られた値と一致する。ただし共振試験では1.099 Hz以外の、すなわち0.899 Hz付近のピークに対応する応答は得られていない。なお他のモードについては共振試験より得られた固有振動数と常時微動より得られた固有振動数とはよく一致している。

一方、解析値と実測値は概して適合が悪い。その中でもたわみ1次振動において両者の開きが大きい。またたわみ振動とねじれ振動では逆の傾向となっており、たわみ振動では実測値の方が振動数が高め、ねじれ振動では解析値の方が振動数が高めとなっている。たわみ振動の場合のように解析値が実測値よりも低めになるのは今までの実験例でも見られたことであり、計算上剛性の評価が小さめに行われるためと考えられており、追加計算のケース(1)～(3)の場合には両者の差は近づき、たわみ2次3次はほぼ一致する。ただし、たわみ1次振動に関してはそれでも両者の差は大きいままにとどまっている。

たわみ1次振動に関しては、スペクトル図や追加計算ケース(4)に示されるように対象振動数領域で類似したモードが複数個現われるという特徴がある。今回の検討ではこれ以上詳細な検討を行っていないが、モデル化の問題も含めて以下のような問題点に留意する必要があると考えられる。

- ・実橋の弾性定数Eが設計値と、どの程度の差があるか
- ・設計では、剛性として評価しない部材が、実際にはどの程度剛性に寄与するか。
- ・本橋では、斜材のグラウトが鋼棒に付着しており、応力変動時にはグラウトが伸び剛性に関与する可能性があるが、それをどの様に評価したら良いか
- ・斜材に質量点を設けることにより、解析値にどの程度の差が生じるか
- ・特にねじれに関して、下部工のばねの影響がどの程度あるか
- ・ねじれ剛性、回転慣性の仮定が、実験時の実橋と対応しているか
- ・解析における各支承部の境界条件の設定が、実際と対応しているか

表－5.2 固有振動数の比較

	解 析 値	共 振 試 験	常 時 微 動 (Hz)
た わ み 1 次	0.793	1.099	0.891～1.099
” 2 次	1.595	1.843	1.831
” 3 次	2.098	2.368	2.423～2.441
” 4 次	2.662	3.210	—
ね じ れ 1 次	5.959 (4.695)	4.126	4.059～4.132
” 2 次	7.991 (6.730)	6.238	—

() 内は、塔基部桁軸回りの回転自由の解析値

5.3 固有振動モード

図-4.3に起振機加振時の振動モードを、また図-4.5に常時微動より算定した振動モードを計算結果と対比して示した。更に、図-5.2にたわみ振動に関して共振試験、常時微動、解析値3者を対比した。

- (1) たわみ振動に関しては、桁のモードは実測と計算がよく一致した。しかし、塔に関しては特にたわみ1次モードが異なった傾向を示した。なお実測値の1, 2, 3次が解析値の1, 3, 4次に対応している。
- (2) ねじれ振動に関しては、実測値には桁のねじれ成分に鉛直成分が混っていた。一方、計算では桁の鉛直振動を考慮に入れていないためねじれ振動成分のみ得られている。計算値と対比するために、実測値より鉛直成分を除去した。

2つ示した解析値との対応は、振動数に関しては桁軸回りの回転を自由とした場合に近くなるが、モード形状に関しては固定とした場合に比較的対応しており、現データだけではどちらが適当であるかを判断するのは難しい。

図-4.3(5)はねじれ振動時の橋軸直角水平方向成分を示している。全体的に適合度が悪く、特に支承部での動きに違いが現われている。

- (3) 常時微動ではたわみ1次振動を考えられる1.1 Hzのピーク以外に優勢なピークが0.89 Hzに見られる。このピークに対応する振動モード図が図-4.6であり、図-4.5(1)に示される1.1 Hzの振動モード図とほとんど一致する。ケーブルの計測が行われていないので詳細な検討は不可能であるが、振動解析の追加計算で示したようにケーブルの振動を考慮した場合、2つの近接した固有値が得られることから、0.89 Hzと1.1 Hzの2つの振動はケーブル振動の介在により近接した振動数で桁と塔について同じモードが生じたものであると考えることも可能である。
- (4) 鉛直方向加振時にケーブルは面内・面外に振動した。図-5.3に桁のたわみ1次、2次振動時のケーブルのリサージュ図を示す。主にケーブルは面内で振動しており、振動数はたわみ1次面外を除いて桁と一致する。

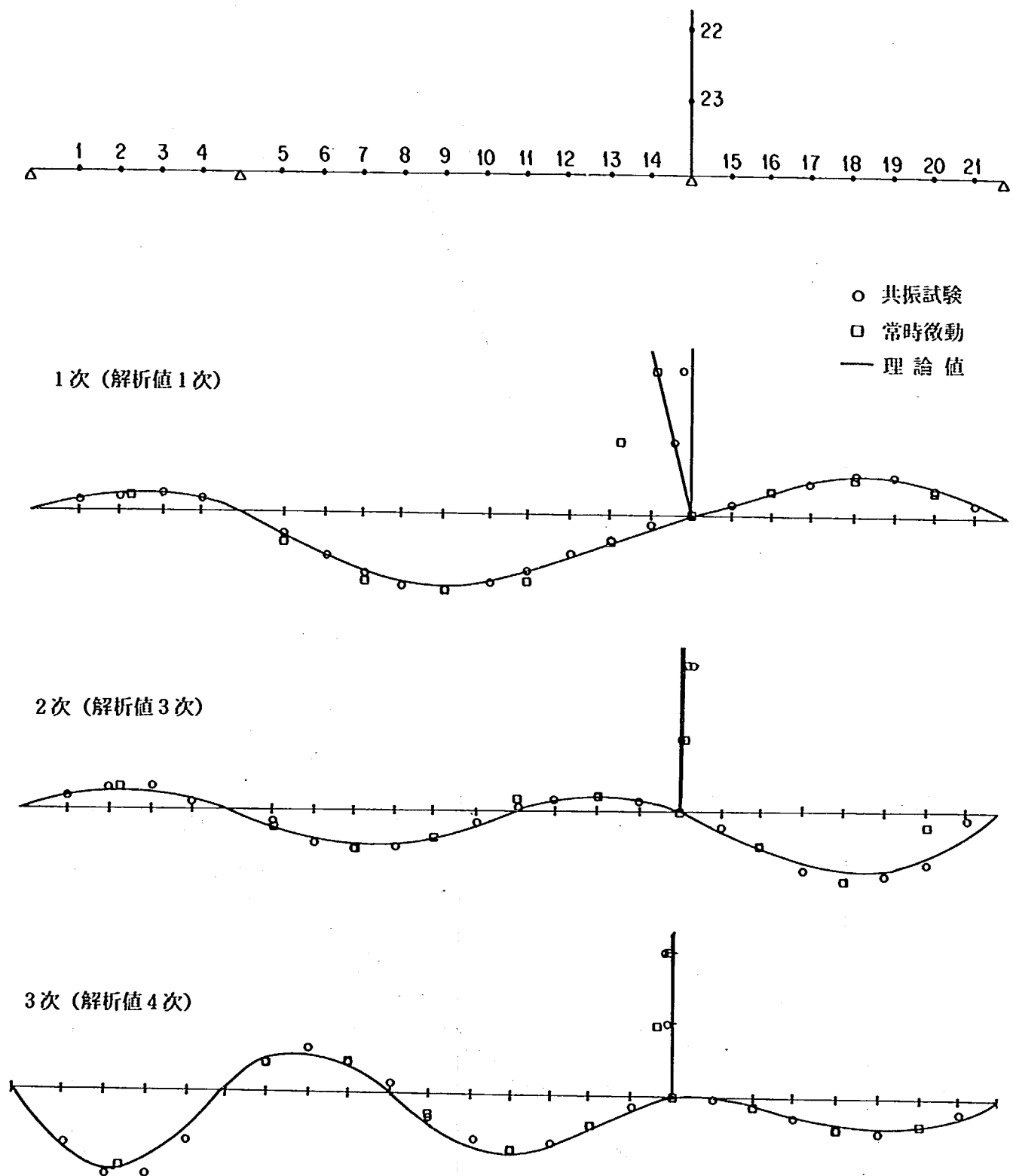


図-5.2 共振試験及び常時微動より得られる振動モード

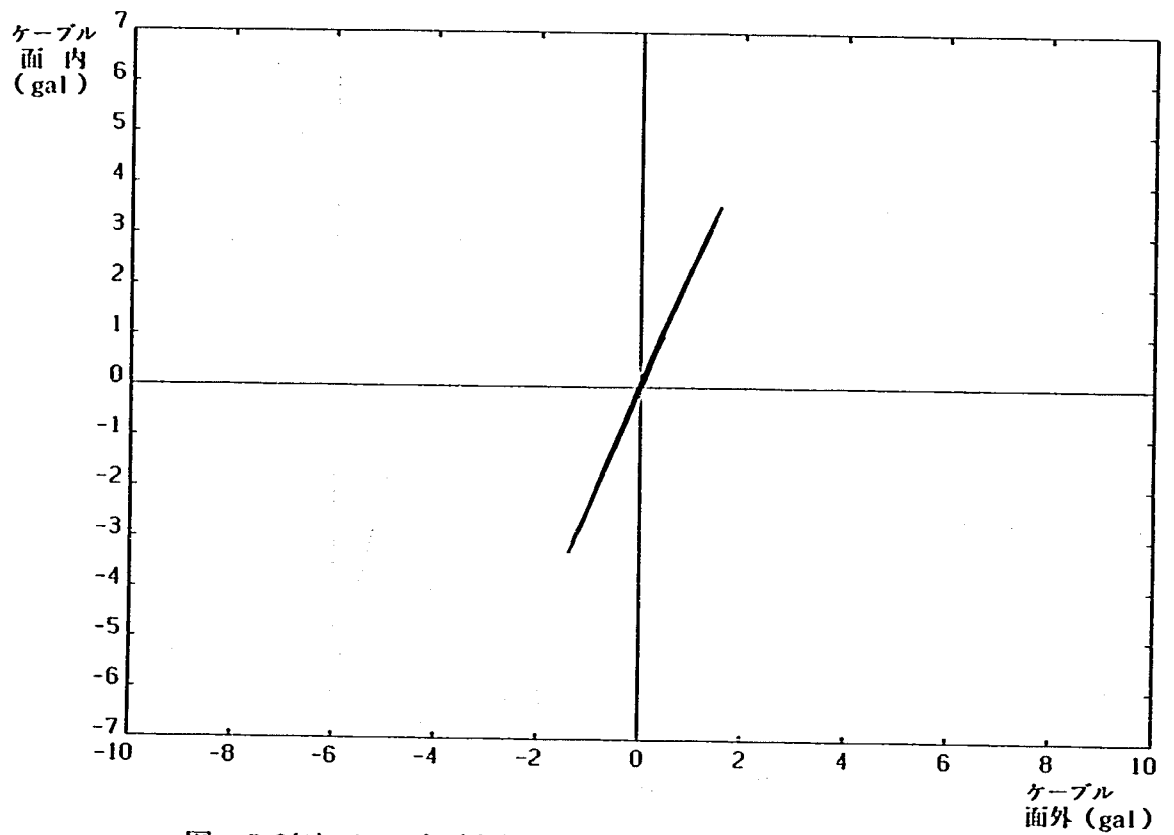


図-5.3(1) ケーブル振動 (ケーブルNo10, たわみ1次振動時)

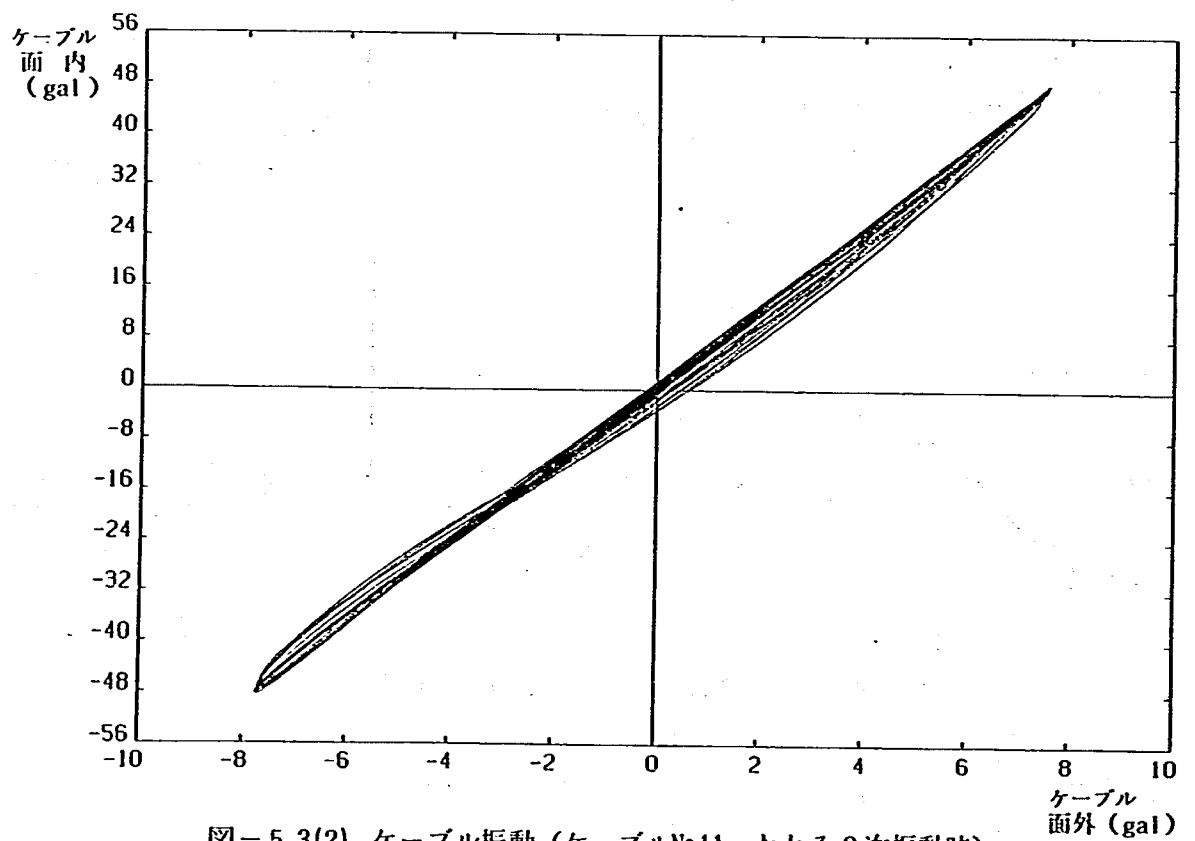


図-5.3(2) ケーブル振動 (ケーブルNo11, たわみ2次振動時)

5.4 構造減衰

表－5.3 に起振機実験による共振曲線および自由減衰波形から求めた構造減衰と常時微動による不規則振動のパワースペクトル曲線より求めた2種類の構造減衰を示す。

表－5.3 構造減衰の比較

	共 振 試 験	自由減衰試験	(対数減衰率 δ)	
			常時微動(1)	常時微動(2)
たわみ 1 次	0.106	0.010	0.115	0.028
” 2 次	0.068	0.018	0.068	0.020
” 3 次	0.055	0.048	0.064	0.016
” 4 次	0.102	0.058	—	—
ねじれ 1 次	0.040	0.010	0.046	0.011
” 2 次	0.041	0.027	—	—

常時微動(1): ウインド処理10回 (2): ウインド処理ナシ

起振機実験時にはケーブル共振が見られた。ケーブルの減衰は図－5.2 に示されるように $\delta = 0.01 \sim 0.02$ の大きさであり、桁の加速度記録から得られた減衰率とあまり変わらない（ただし、別途行われた車両急速停止時の計測では桁に比べてケーブルは小さい減衰になっている。）こと、また名港西大橋でみられたケーブルと桁とのエネルギーのやりとりによるビート現象も顕著には認められなかったことから、桁の加速度記録から読み取った値をそのまま構造減衰値とした。

表－5.2 を見ると、自由減衰試験より得られた構造減衰と常時微動(2)より得られた構造減衰とは比較的值に近いが、他は大きめの値となっている。そのうち共振試験の減衰が大きい理由としては、斜材の影響でいくつかに分離して生じるピーク値をとらえきれないことから、裾野が大きめの共振曲線が推定されたためと考えられる。又、常時微動(1)の減衰が大きい理由は、ウインド処理の回数が多いことから分解能が低下し、幅の広いピーク形状になってしまったためと考えられる。ウインド処理については回数の決定など客観的に定められない点もあることから、使用に際しては今後も、注意を要すると考えられる。

4種類の構造減衰のうち、最も信頼性が高いと思われる自由減衰の結果を見ると、たわみの1次、2次、ねじれの1次、2次で $\delta = 0.01 \sim 0.03$ であり、通常のコングリートの橋梁で想定される $\delta = 0.05$ という値よりも多少小さめとなっている。今回の実験が微小振幅の範囲（最大1～2mm）にとどまったことが1つの理由と考えられる。また、自由減衰の結果を見ると高次になるに従い、減衰が大きくなる傾向が認められる。

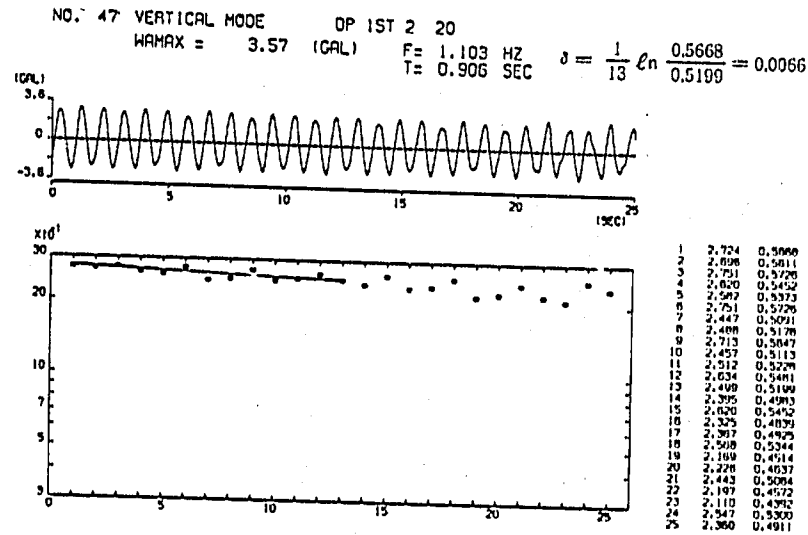


図-5.2(1) 斜材の減衰(1) (たわみ1次面内)

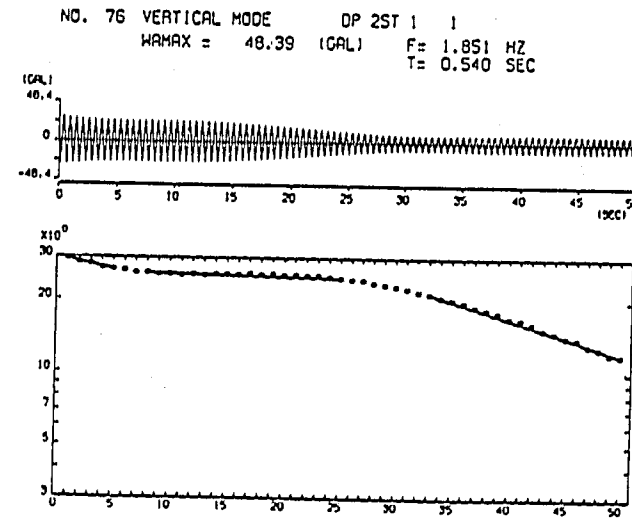


図-5.2(3) 斜材の減衰(3) (たわみ2次面内)

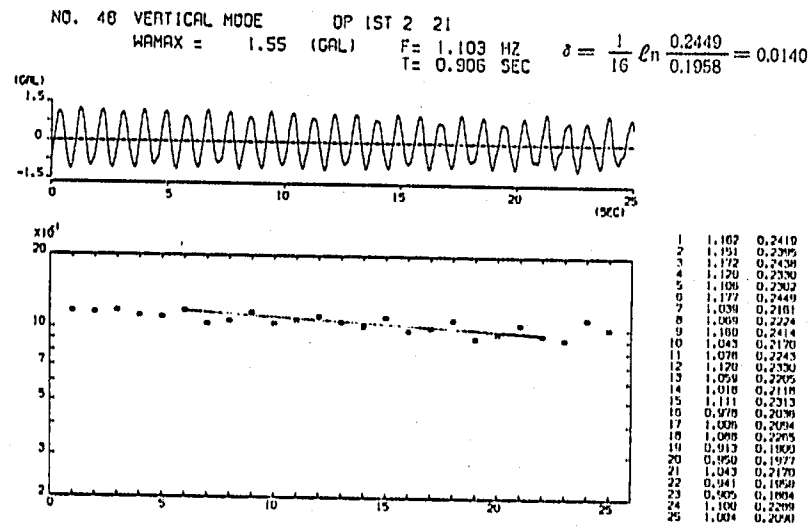


図-5.2(2) 斜材の減衰(2) (たわみ1次面外)

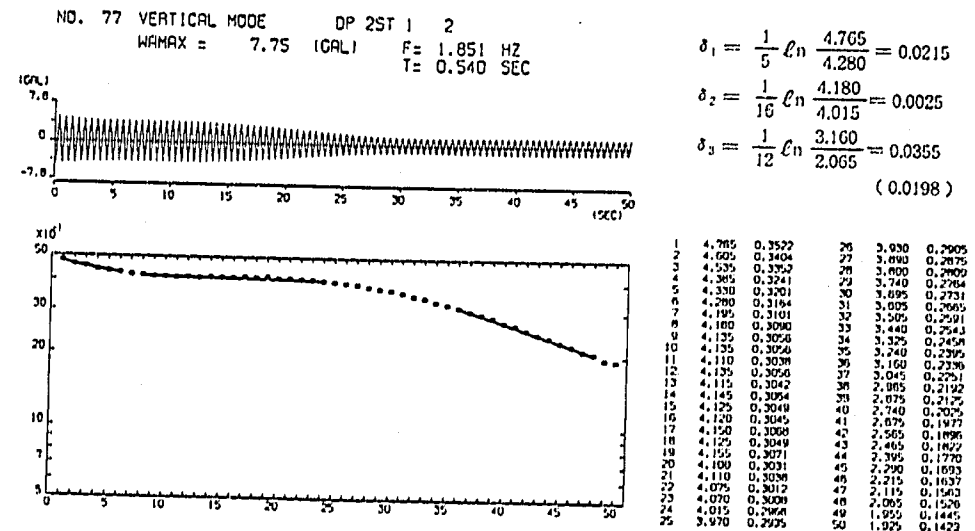


図-5.2(4) 斜材の減衰(4) (たわみ2次面外)

6. ま と め

新綾部大橋の起振機実験および常時微動測定結果をとりまとめると以下のとおりである。

- (1) 起振機加振時にケーブルの顕著な振動が観測された。ケーブルの振動は桁の振動に比べて大幅に大きく、桁の加振を制約しなければならないほどであった。
- (2) ケーブルは面内に加振した場合でも、面内の振動とともにわずかではあるが面外の振動が発生する。
- (3) 常時微動のパワースペクトルより、ある振動数の近傍で桁に関し同一の振動モードを持つピークが複数個生じることが認められた。
- (4) 固有振動数に関しては、実測値と計算値が概してあまりよい一致をみななかった。計算では計算モデル、入力条件の吟味が重要である。
- (5) 微小振幅の範囲ではあるものの、構造減衰は小さく、たわみ振動1次、2次、ねじれ振動1次、2次では対数減衰率 $\delta = 0.01 \sim 0.03$ 、たわみ振動3次、4次で $\delta = 0.05$ 程度であった。
- (6) 斜張橋は自由度の大きい振動系であり、その振動特性にはケーブルの挙動が大きく関与する。振動実験時にはケーブルを含む各部の振動に注意することが重要である。

謝

辞

本実験を行うにあたり、京都府土木建設部道路建設課、綾部土木事務所及び住友建設株式会社の関係各位より多大な協力を得た。ここに記して、感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 建設省土木研究所構造橋梁部構造研究室；「撫養橋振動実験報告書」，土木研究所資料第2516号（昭和62年8月）
- 2) 京都大学工学部土木工学教室橋梁工学研究室，財団法人防災研究協会；「新丹波大橋（P C斜張橋）の耐風性に関する調査研究」，京都府委託研究成果報告書（昭和58年3月）
- 3) 日本道路公団名港西大橋工事事務所他；名港西大橋（鋼上部工）工事振動実験報告書，昭和60年1月，または日本道路公団；名港西大橋工事誌，昭和61年3月

～ 参考資料（弦の式より求めたケーブルの固有振動数）～

ケーブルの固有振動数

ケーブル	L _c (m)	A _c (cm ²)	T _o (t)	f ₁ (Hz)	f ₂ (Hz)	f ₃ (Hz)
1, 11	85.00	102.57	358.0	1.228	2.456	3.684
2, 12	71.48	"	306.7	1.351	2.703	4.054
3, 13	58.29	"	282.7	1.591	3.182	4.773
4, 14	45.73	94.68	219.1	1.858	3.717	5.575
5, 15	34.48	71.01	160.3	2.434	4.869	7.303
6, 16	34.48	71.01	177.7	2.563	5.126	7.689
7, 17	45.73	94.68	250.5	1.987	3.974	5.961
8, 18	58.29	102.57	305.1	1.653	3.306	4.959
9, 19	71.48	"	317.6	1.375	2.751	4.126
10, 20	85.00	"	323.6	1.167	2.335	3.502

$$f_i = \frac{i}{2 \cdot L_c} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot T_o}{r_c \cdot A_c}}$$

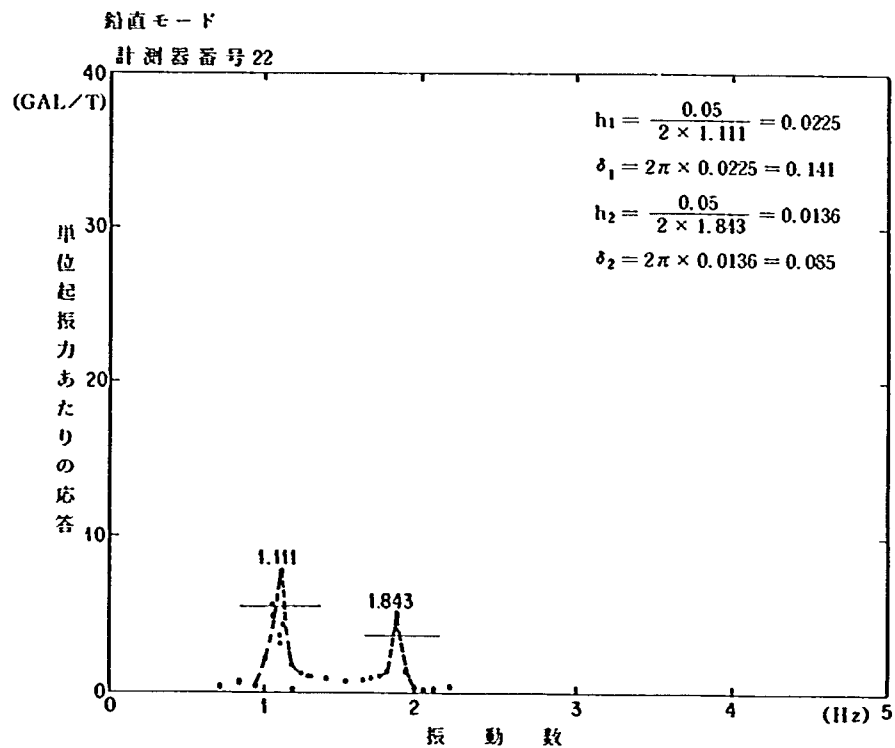
i : 次数
f : 振動数
g : 重力加速度
T_o : (死荷重+プレストレス) 分の張力
r_c : ケーブルの単位体積重量
A_c : ケーブルの断面積

- ・ ケーブル長は主塔中心位置から、桁中心位置までの長さを用いている為、厳密な固定間距離とは異なる。
- ・ グラウトに関しては無視している。

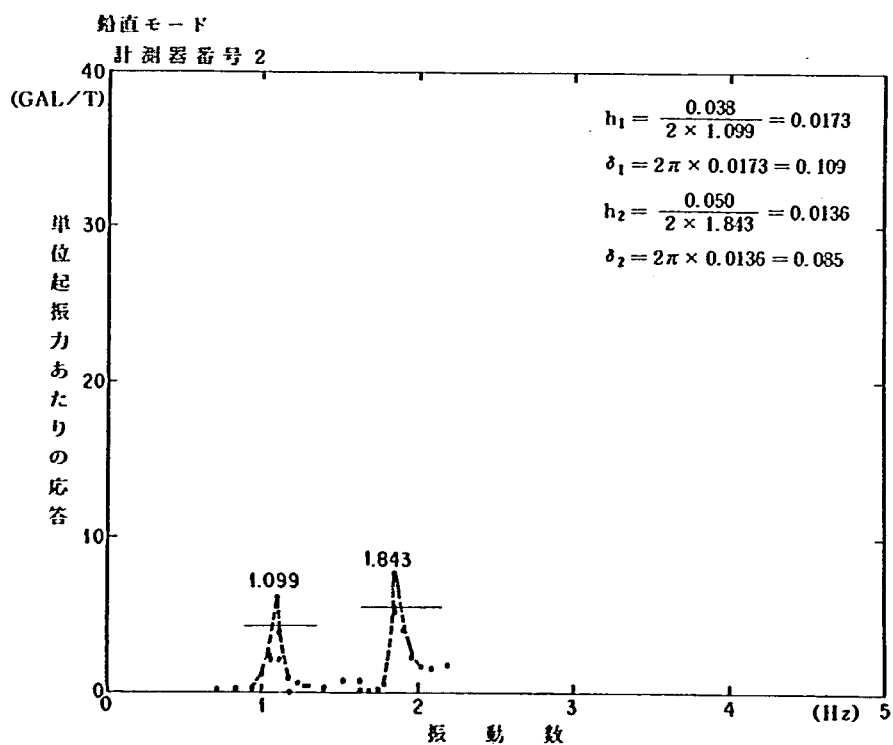
付 属 資 料

1. 起振機加振による共振曲線
2. 振幅～波数曲線, 自由減衰振動波形
3. 常時微動のパワースペクトル

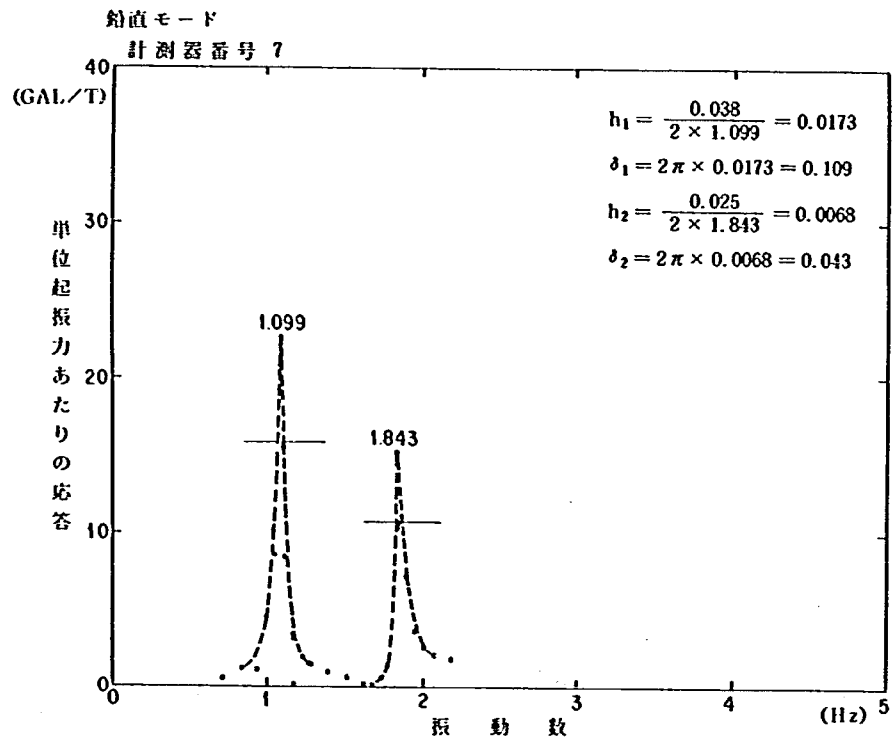
図中の計測器番号と設置位置との関係は, 本文中の図-2, 3 あるいは 2, 4 を参照されたい。なお, 常時微動については, ねじれ加振時と同様に計測器を配置しているので, 図-2, 4 を参照されたい。



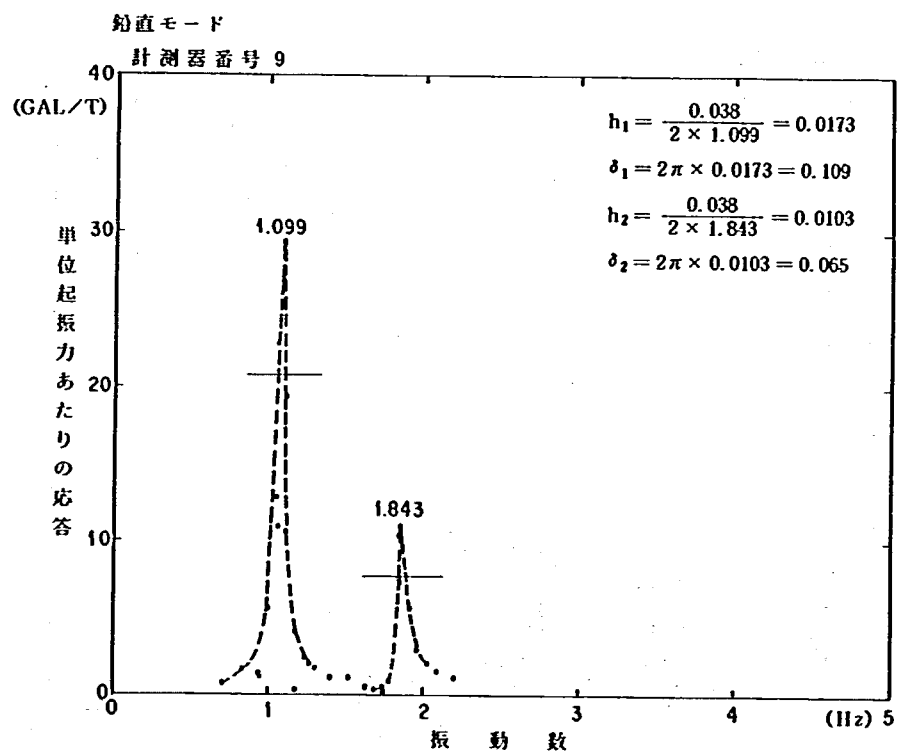
付図－1.1 起振機加振による共振曲線



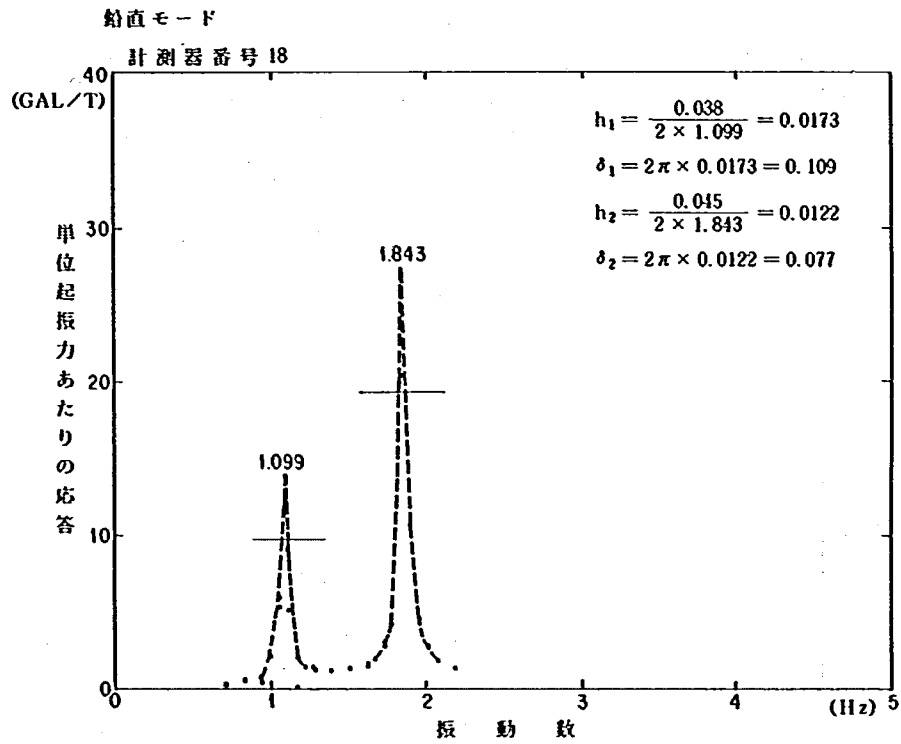
付図－1.2 起振機加振による共振曲線



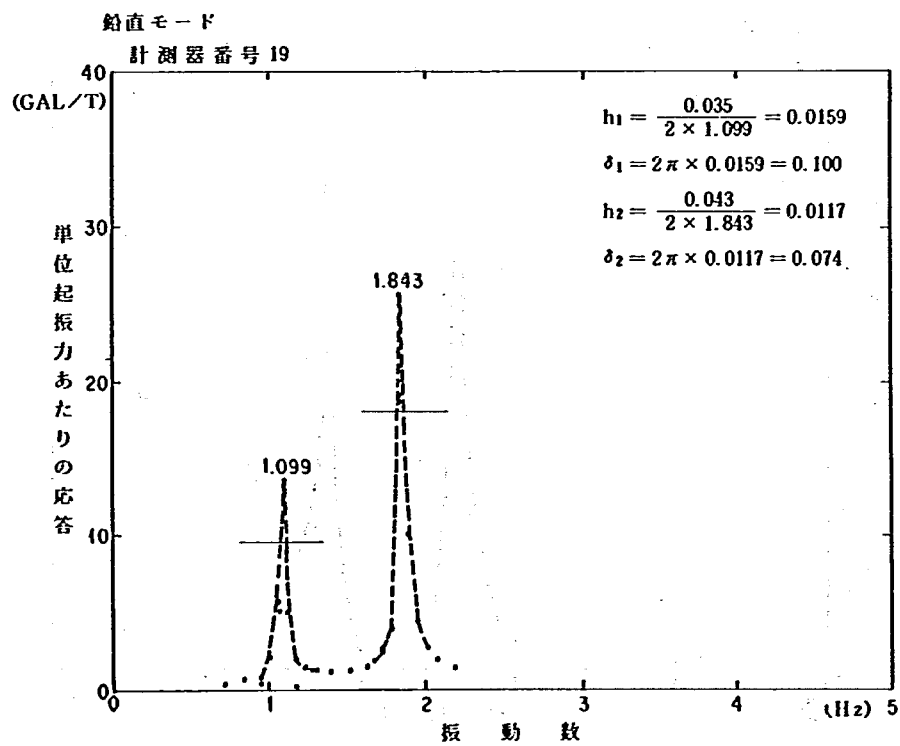
付図-1.3 起振機加振による共振曲線



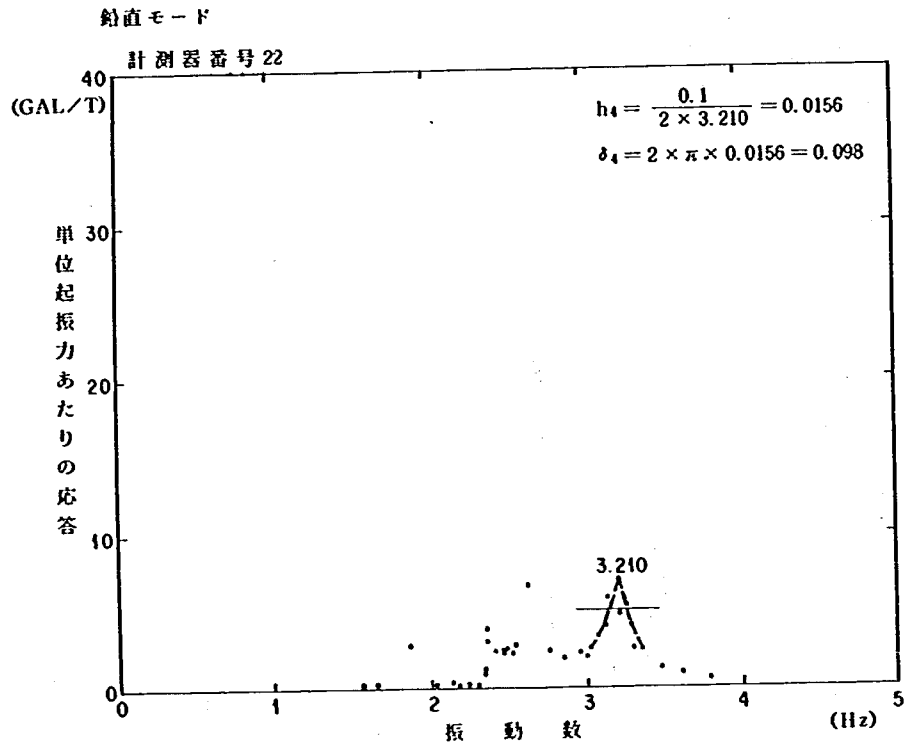
付図-1.4 起振機加振による共振曲線



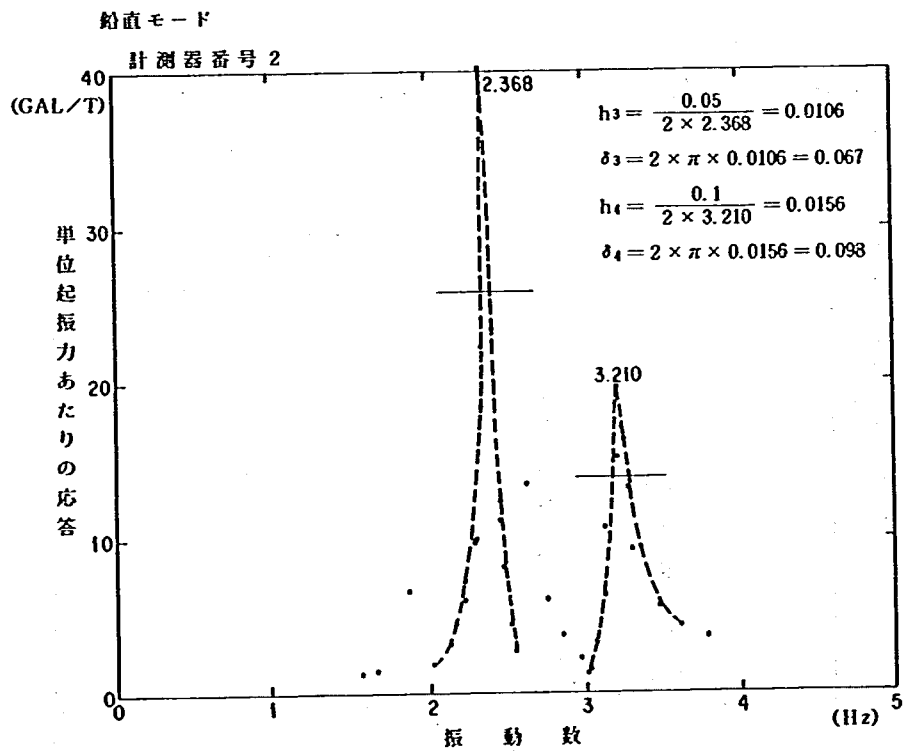
付図-1.5 起振機加振による共振曲線



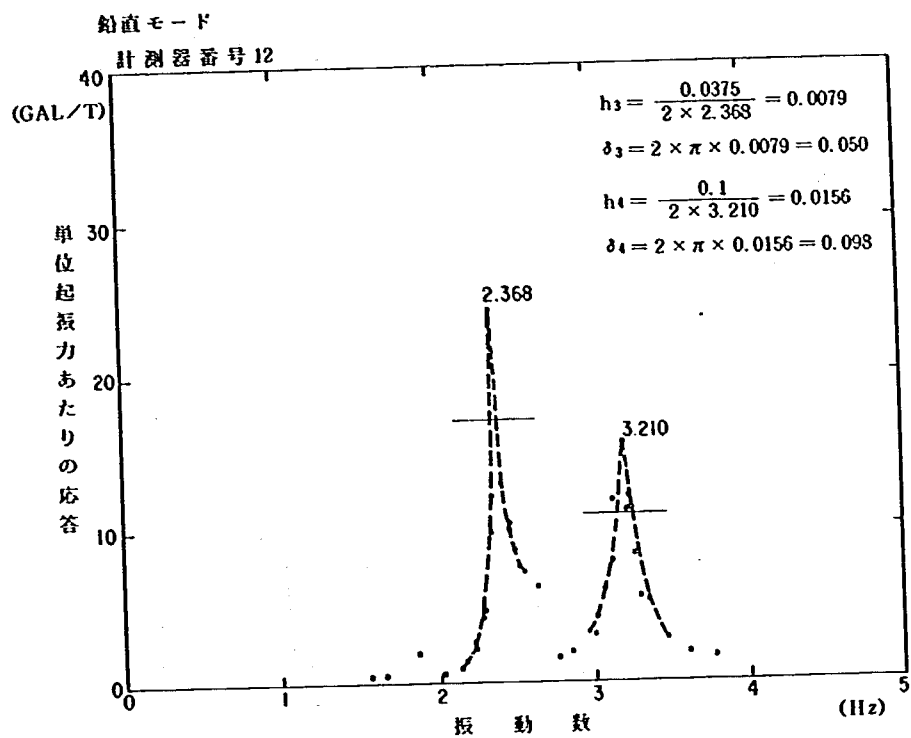
付図-1.6 起振機加振による共振曲線



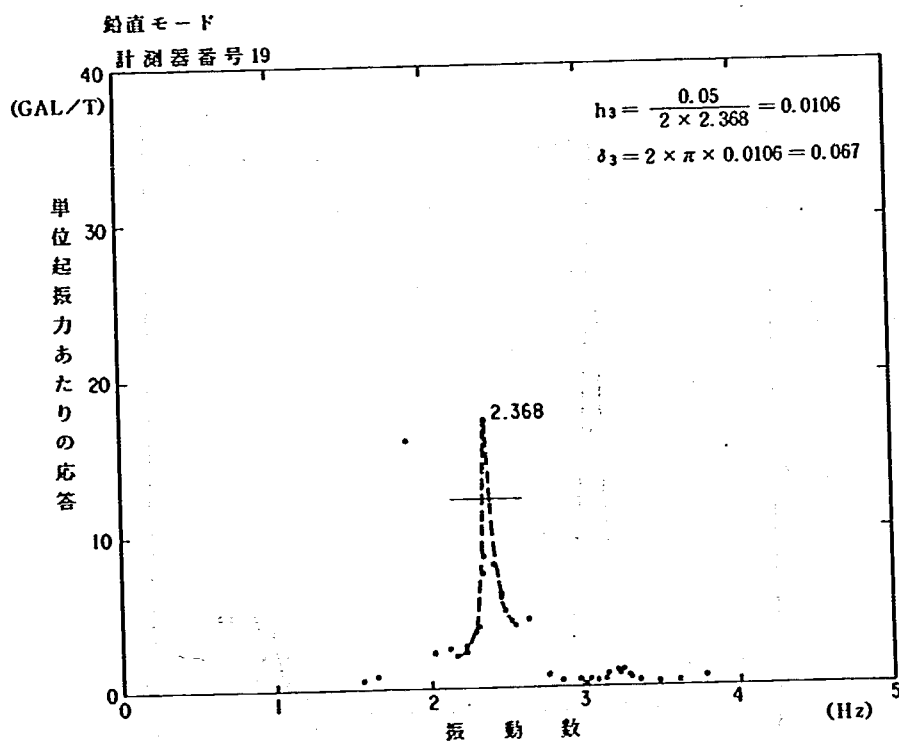
付図-1.7 起振機加振による共振曲線



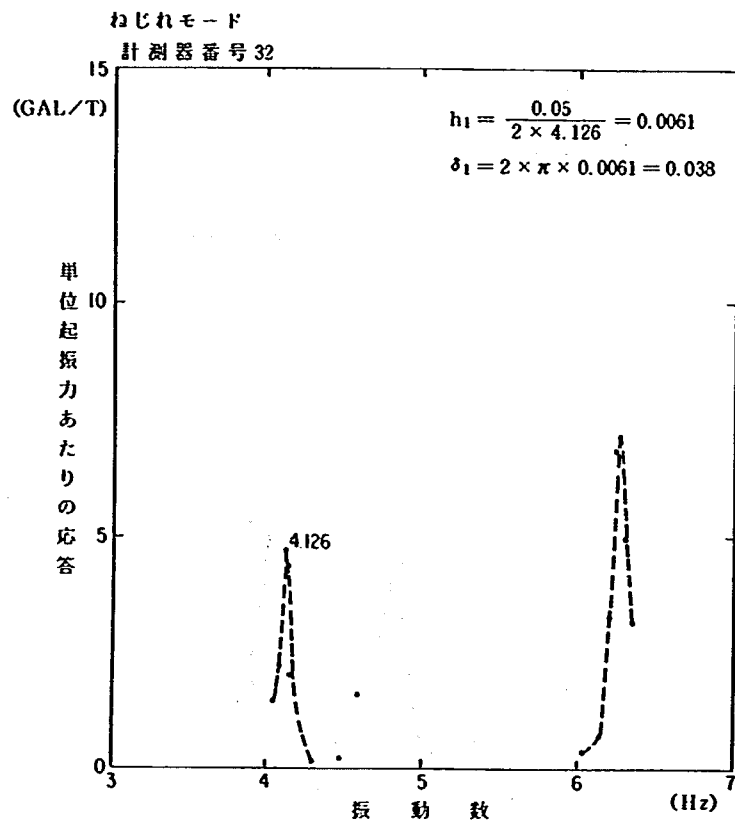
付図-1.8 起振機加振による共振曲線



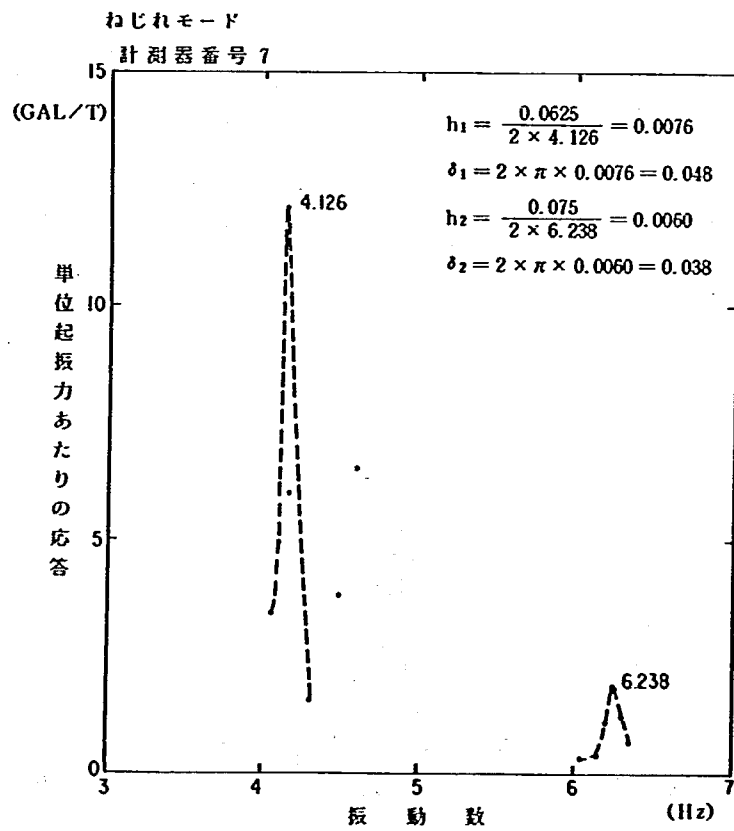
付図-1.9 起振機加振による共振曲線



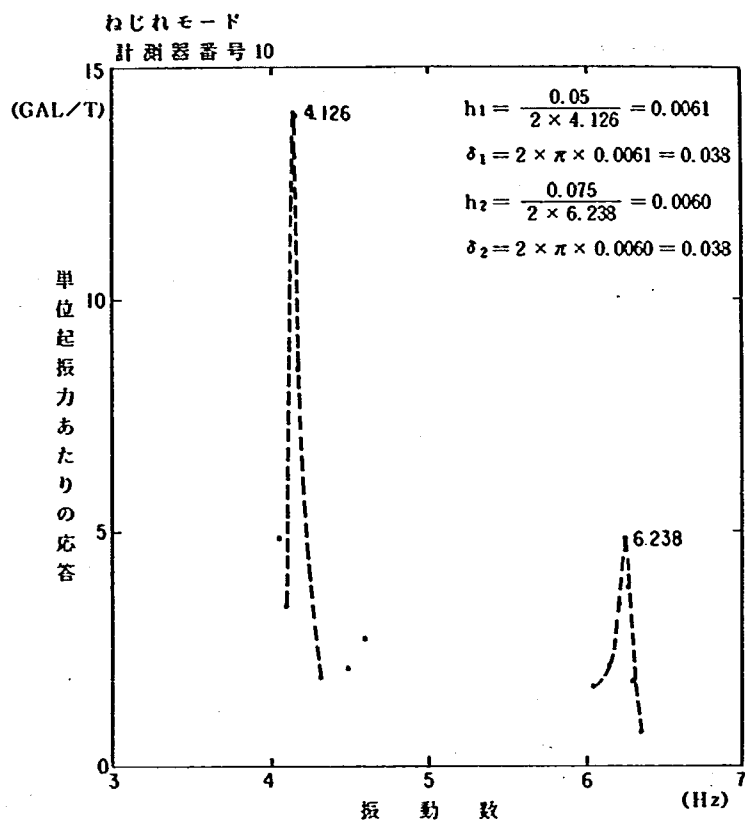
付図-1.10 起振機加振による共振曲線



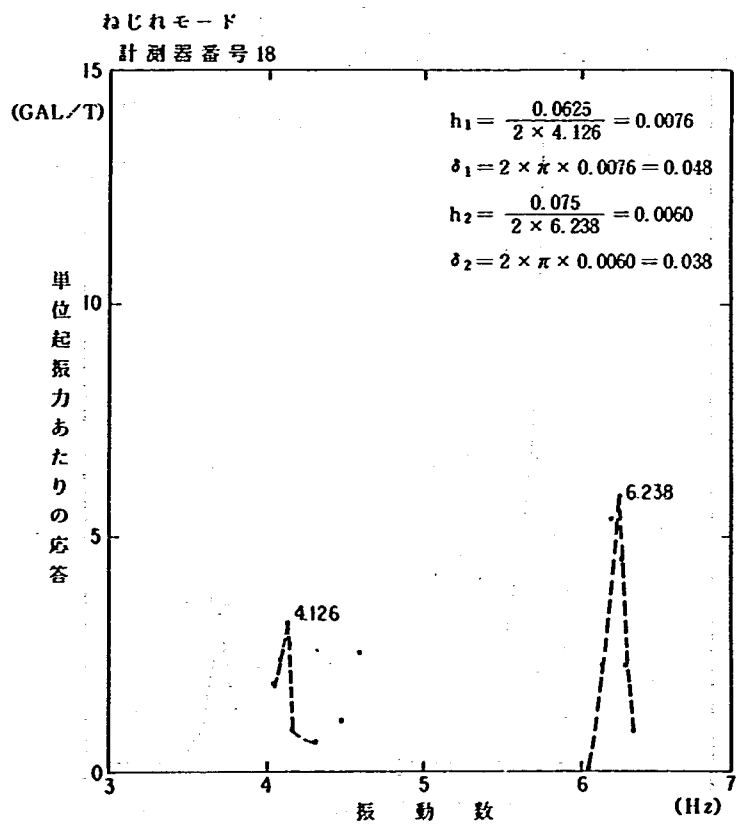
付図-1.11 起振機加振による共振曲線



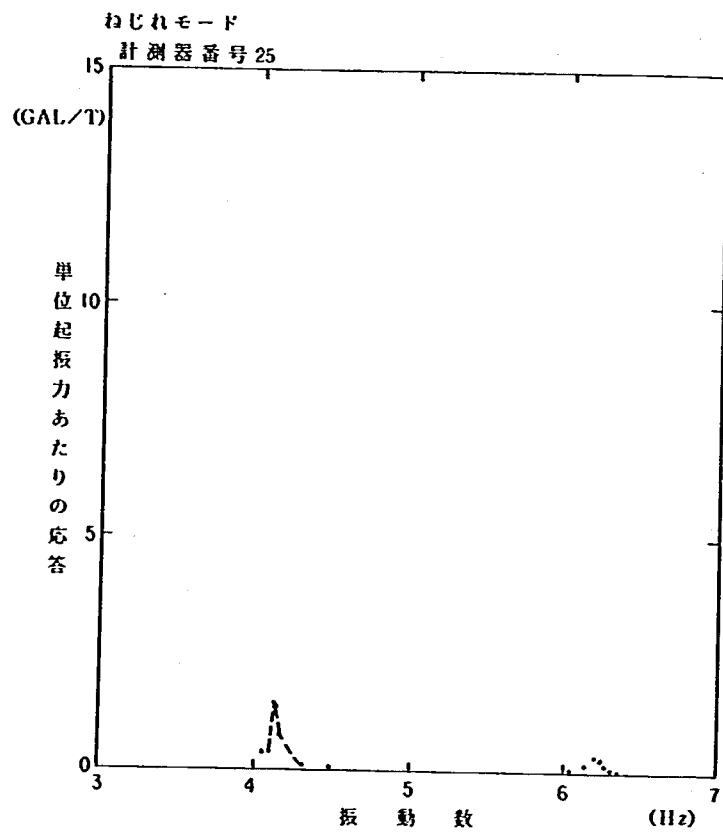
付図-1.12 起振機加振による共振曲線



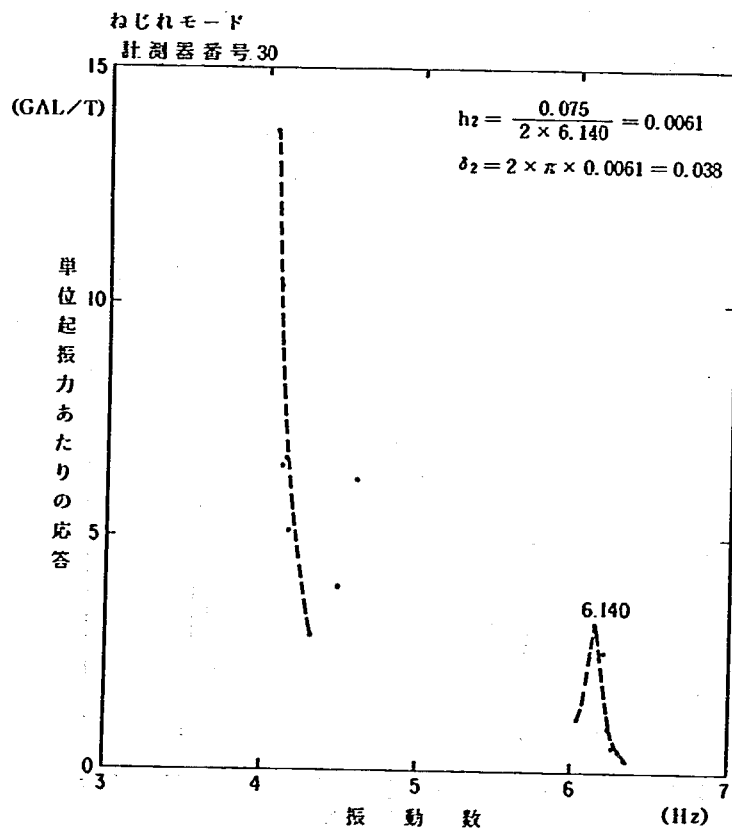
付図-1.13 起振機加振による共振曲線



付図-1.14 起振機加振による共振曲線



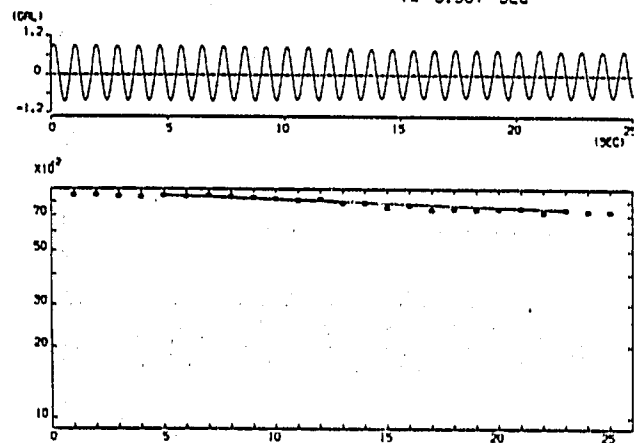
付図-1.15 起振機加振による共振曲線



付図-1.16 起振機加振による共振曲線

NO. 1 鉛直1次モード (1回目) 計測器番号 22
最大加速度 = 1.18 (GAL) F = 1.103 HZ
T = 0.907 SEC

$$\delta = \frac{1}{18} \ln \frac{0.1769}{0.1538} = 0.0078$$

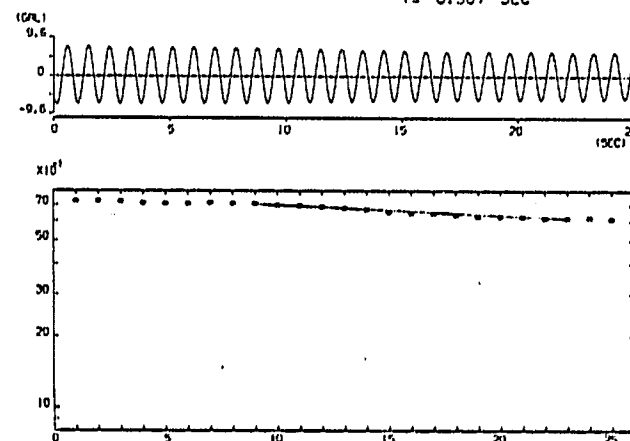


加速度 (gal)	変位 (mm)
1 0.848	0.1769
2 0.850	0.1771
3 0.840	0.1750
4 0.836	0.1741
5 0.849	0.1769
6 0.840	0.1750
7 0.847	0.1764
8 0.838	0.1746
9 0.830	0.1729
10 0.822	0.1713
11 0.810	0.1687
12 0.819	0.1706
13 0.787	0.1639
14 0.787	0.1639
15 0.753	0.1569
16 0.771	0.1606
17 0.737	0.1539
18 0.744	0.1550
19 0.737	0.1536
20 0.742	0.1549
21 0.746	0.1557
22 0.717	0.1494
23 0.729	0.1538
24 0.726	0.1513
25 0.724	0.1509

付図-2.1.1 自由減衰波形

NO. 12 鉛直1次モード (1回目) 計測器番号 9
最大加速度 = 9.61 (GAL) F = 1.102 HZ
T = 0.907 SEC

$$\delta = \frac{1}{14} \ln \frac{1.4760}{1.2821} = 0.0101$$

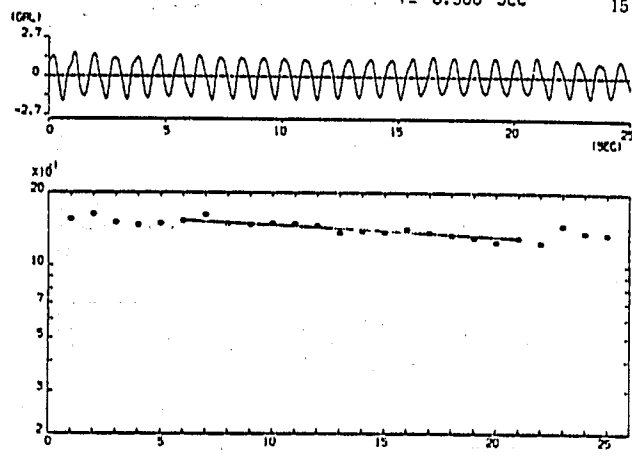


加速度 (gal)	変位 (mm)
1 7.240	1.5099
2 7.250	1.5114
3 7.220	1.5052
4 7.120	1.4853
5 7.080	1.4780
6 7.080	1.4780
7 7.150	1.4801
8 7.080	1.4701
9 7.080	1.4760
10 6.980	1.4551
11 6.940	1.4460
12 6.870	1.4322
13 6.780	1.4134
14 6.690	1.3947
15 6.550	1.3502
16 6.460	1.3407
17 6.430	1.3405
18 6.340	1.3217
19 6.240	1.3000
20 6.250	1.3029
21 6.240	1.3039
22 6.150	1.2821
23 6.150	1.2821
24 6.140	1.2804
25 6.110	1.2737

付図-2.1.3 自由減衰波形

NO. 5 鉛直1次モード (1回目) 計測器番号 2
最大加速度 = 2.74 (GAL) F = 1.101 HZ
T = 0.908 SEC

$$\delta = \frac{1}{15} \ln \frac{0.3190}{0.2720} = 0.0106$$

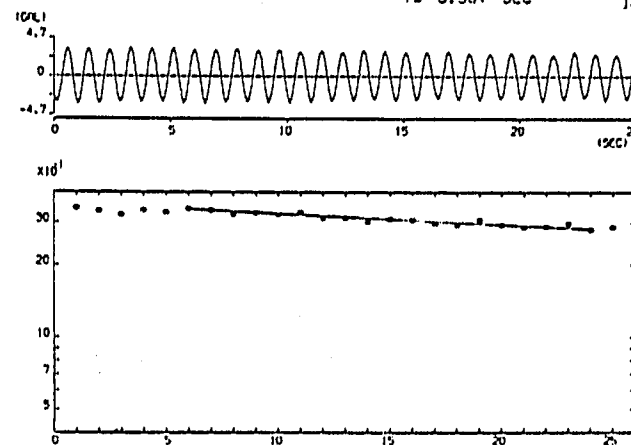


加速度 (gal)	変位 (mm)
1 1.552	0.3242
2 1.625	0.3394
3 1.505	0.3143
4 1.470	0.3030
5 1.490	0.3112
6 1.527	0.3190
7 1.517	0.3176
8 1.487	0.3106
9 1.477	0.3099
10 1.495	0.3122
11 1.487	0.3106
12 1.482	0.3054
13 1.362	0.2845
14 1.385	0.2952
15 1.367	0.2854
16 1.415	0.2955
17 1.397	0.2924
18 1.332	0.2783
19 1.302	0.2720
20 1.290	0.2610
21 1.302	0.2720
22 1.245	0.2582
23 1.470	0.3070
24 1.372	0.2906
25 1.372	0.2924

付図-2.1.2 自由減衰波形

NO. 22 鉛直1次モード (1回目) 計測器番号 19
最大加速度 = 4.72 (GAL) F = 1.102 HZ
T = 0.907 SEC

$$\delta = \frac{1}{18} \ln \frac{0.7138}{0.5844} = 0.0111$$

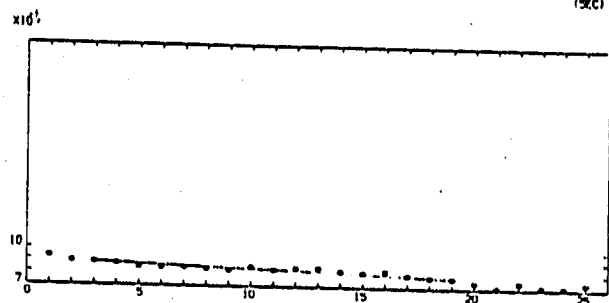
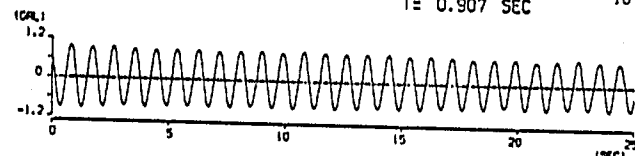


加速度 (gal)	変位 (mm)
1 3.438	0.7166
2 3.344	0.6971
3 3.226	0.6726
4 3.322	0.7029
5 3.289	0.6877
6 3.424	0.7138
7 3.372	0.7039
8 3.237	0.6747
9 3.285	0.6849
10 3.257	0.6781
11 3.303	0.6898
12 3.122	0.6509
13 3.133	0.6531
14 3.015	0.6295
15 3.078	0.6428
16 3.081	0.6422
17 2.966	0.6184
18 2.921	0.6060
19 3.074	0.6408
20 2.932	0.6112
21 2.862	0.5987
22 2.887	0.6018
23 2.973	0.6199
24 2.803	0.5844
25 2.866	0.5974

付図-2.1.4 自由減衰波形

NO. 25 鉛直1次モード (2回目) 計測器番号 22
最大加速度 = 1.16 (GAL) F = 1.102 HZ
T = 0.907 SEC

$$\delta = \frac{1}{16} \ln \frac{0.1824}{0.1605} = 0.0080$$

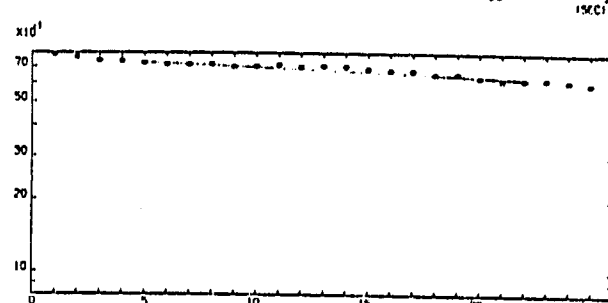
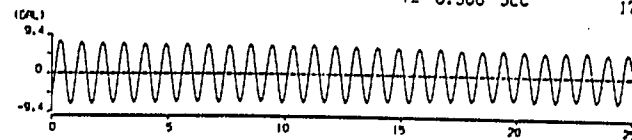


加減度 (gal)	変位 (mm)
1 0.824	0.1825
2 0.803	0.1840
3 0.775	0.1824
4 0.804	0.1801
5 0.836	0.1742
6 0.831	0.1733
7 0.836	0.1742
8 0.826	0.1721
9 0.816	0.1703
10 0.841	0.1754
11 0.820	0.1710
12 0.838	0.1742
13 0.835	0.1742
14 0.812	0.1694
15 0.802	0.1673
16 0.817	0.1703
17 0.798	0.1662
18 0.774	0.1614
19 0.770	0.1605
20 0.742	0.1547
21 0.707	0.1475
22 0.743	0.1549
23 0.716	0.1493
24 0.712	0.1488
25 0.739	0.1540

付図-2.2.1 自由減衰波形

NO. 36 鉛直1次モード (2回目) 計測器番号 9
最大加速度 = 9.44 (GAL) F = 1.102 HZ
T = 0.908 SEC

$$\delta = \frac{1}{17} \ln \frac{1.5127}{1.2978} = 0.0090$$

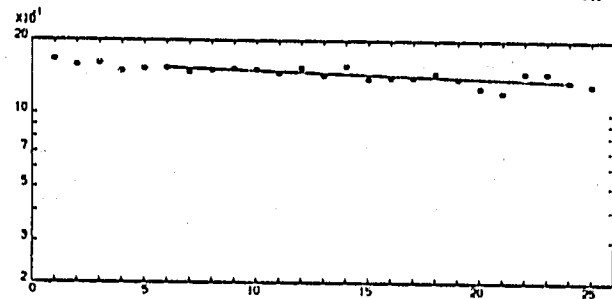
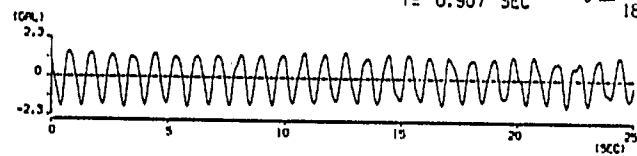


加減度 (gal)	変位 (mm)
1 7.830	1.0336
2 7.640	1.5441
3 7.410	1.5401
4 7.360	1.5377
5 7.250	1.5127
6 7.140	1.4968
7 7.130	1.4877
8 7.160	1.4940
9 6.970	1.4543
10 7.030	1.4658
11 7.170	1.4877
12 7.010	1.4627
13 7.070	1.4752
14 7.030	1.4644
15 6.890	1.4376
16 6.780	1.4168
17 6.780	1.4147
18 6.590	1.3908
19 6.570	1.3709
20 6.750	1.3750
21 6.150	1.2632
22 6.270	1.2978
23 6.780	1.3103
24 6.160	1.2653
25 6.000	1.2519

付図-2.2.3 自由減衰波形

NO. 29 鉛直1次モード (2回目) 計測器番号 2
最大加速度 = 2.34 (GAL) F = 1.103 HZ
T = 0.907 SEC

$$\delta = \frac{1}{18} \ln \frac{0.3208}{0.2833} = 0.0069$$

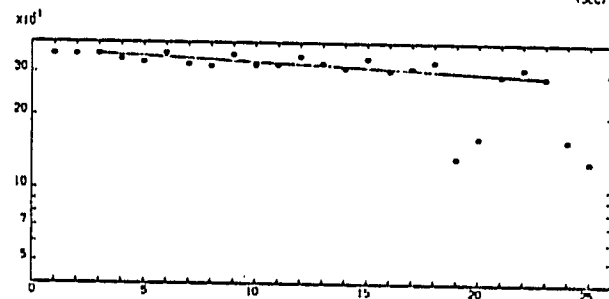
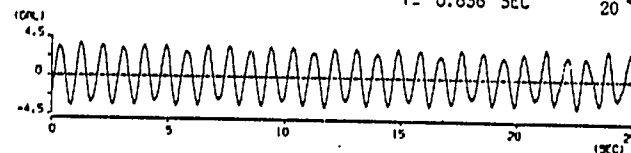


加減度 (gal)	変位 (mm)
1 1.067	0.3473
2 1.592	0.3296
3 1.610	0.3353
4 1.492	0.3102
5 1.521	0.3162
6 1.540	0.3209
7 1.477	0.3077
8 1.510	0.3145
9 1.525	0.3176
10 1.515	0.3150
11 1.495	0.3051
12 1.542	0.3213
13 1.432	0.2984
14 1.567	0.3295
15 1.590	0.3395
16 1.402	0.2921
17 1.407	0.2932
18 1.470	0.3062
19 1.502	0.3000
20 1.277	0.2681
21 1.225	0.2552
22 1.475	0.3072
23 1.467	0.3057
24 1.390	0.2933
25 1.312	0.2724

付図-2.2.2 自由減衰波形

NO. 46 鉛直1次モード (2回目) 計測器番号 19
最大加速度 = 4.54 (GAL) F = 1.197 HZ
T = 0.836 SEC

$$\delta = \frac{1}{20} \ln \frac{0.6319}{0.5111} = 0.0106$$



加減度 (gal)	変位 (mm)
1 3.558	0.8294
2 3.548	0.8278
3 3.573	0.8319
4 3.396	0.8008
5 3.308	0.7853
6 3.611	0.8386
7 3.247	0.7543
8 3.188	0.7639
9 3.552	0.8202
10 3.209	0.7675
11 3.230	0.7712
12 3.493	0.8178
13 3.275	0.7792
14 3.129	0.7534
15 3.438	0.8000
16 3.007	0.7424
17 3.143	0.7558
18 3.334	0.8098
19 1.338	0.2366
20 1.425	0.2874
21 2.935	0.5191
22 3.143	0.7559
23 2.690	0.5111
24 1.247	0.2807
25 1.298	0.2242

付図-2.2.4 自由減衰波形

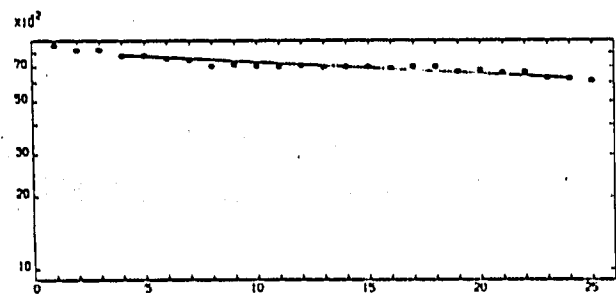
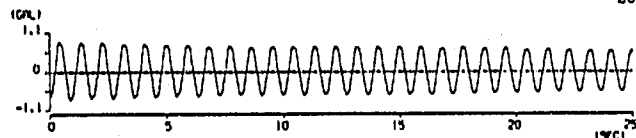
NO. 1 鉛直1次モード (3回目) 計測器番号 22

最大加速度 = 1.14 (GAL)

F = 1.100 HZ

T = 0.909 SEC

$$\delta = \frac{1}{20} \ln \frac{0.1620}{0.1297} = 0.0111$$



加減度 (gal)	変位 (mm)
1 0.858	0.1795
2 0.819	0.1714
3 0.824	0.1723
4 0.774	0.1620
5 0.778	0.1627
6 0.758	0.1563
7 0.745	0.1539
8 0.704	0.1473
9 0.711	0.1487
10 0.703	0.1470
11 0.697	0.1459
12 0.708	0.1477
13 0.693	0.1449
14 0.698	0.1461
15 0.698	0.1461
16 0.688	0.1440
17 0.689	0.1453
18 0.689	0.1451
19 0.645	0.1341
20 0.675	0.1412
21 0.658	0.1377
22 0.663	0.1386
23 0.628	0.1309
24 0.620	0.1297
25 0.608	0.1272

付図 - 2.3.1 自由減衰波形

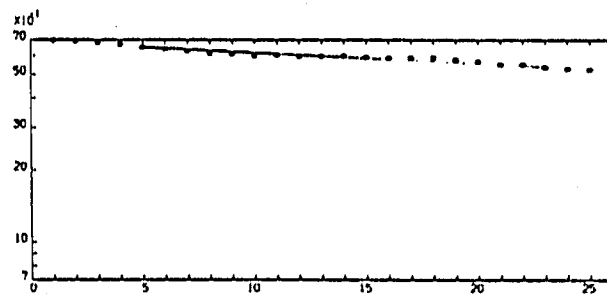
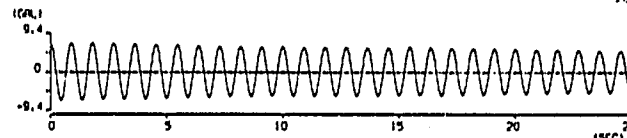
NO. 12 鉛直1次モード (3回目) 計測器番号 9

最大加速度 = 9.38 (GAL)

F = 1.099 HZ

T = 0.910 SEC

$$\delta = \frac{1}{18} \ln \frac{1.3664}{1.1233} = 0.0085$$



加減度 (gal)	変位 (mm)
1 0.980	1.4026
2 0.938	1.4523
3 0.920	1.4293
4 0.790	1.4041
5 0.520	1.3604
6 0.420	1.3455
7 0.280	1.3102
8 0.120	1.2626
9 0.110	1.2605
10 0.910	1.2512
11 0.940	1.2050
12 0.900	1.2491
13 0.900	1.2491
14 0.990	1.2554
15 0.920	1.2407
16 0.860	1.2281
17 0.890	1.2344
18 0.830	1.2305
19 0.720	1.2002
20 0.660	1.1862
21 0.520	1.1508
22 0.520	1.1508
23 0.360	1.1233
24 0.280	1.1006
25 0.250	1.1003

付図 - 2.3.3 自由減衰波形

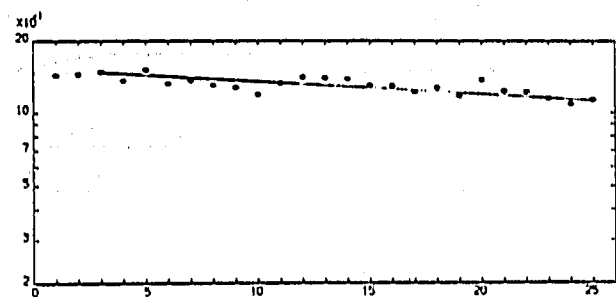
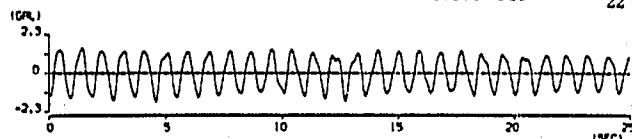
NO. 5 鉛直1次モード (3回目) 計測器番号 2

最大加速度 = 2.29 (GAL)

F = 1.099 HZ

T = 0.910 SEC

$$\delta = \frac{1}{22} \ln \frac{0.3107}{0.2373} = 0.0113$$



加減度 (gal)	変位 (mm)
1 1.432	0.3002
2 1.447	0.3034
3 1.482	0.3107
4 1.302	0.2855
5 1.512	0.3170
6 1.325	0.2777
7 1.305	0.2861
8 1.305	0.2795
9 1.275	0.2672
10 1.190	0.2484
11 1.327	0.2782
12 1.407	0.2920
13 1.397	0.2829
14 1.382	0.2897
15 1.300	0.2724
16 1.295	0.2714
17 1.220	0.2557
18 1.272	0.2607
19 1.170	0.2452
20 1.372	0.2876
21 1.232	0.2583
22 1.220	0.2557
23 1.147	0.2405
24 1.087	0.2279
25 1.132	0.2373

付図 - 2.3.2 自由減衰波形

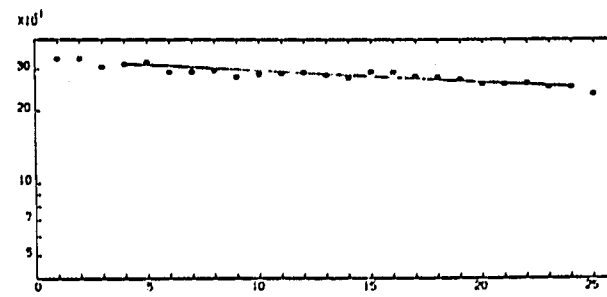
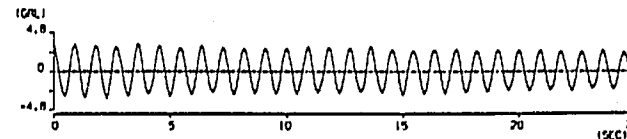
NO. 22 鉛直1次モード (3回目) 計測器番号 19

最大加速度 = 4.81 (GAL)

F = 1.099 HZ

T = 0.910 SEC

$$\delta = \frac{1}{20} \ln \frac{0.6602}{0.5273} = 0.0112$$

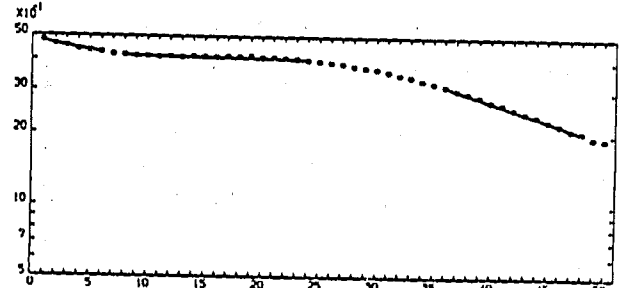
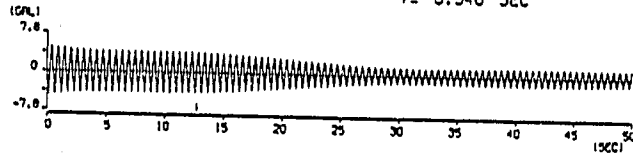


加減度 (gal)	変位 (mm)
1 3.320	0.6957
2 3.323	0.6905
3 3.060	0.6413
4 3.150	0.6602
5 3.209	0.6725
6 2.918	0.6115
7 2.914	0.6108
8 2.952	0.6188
9 2.783	0.5832
10 2.845	0.5953
11 2.876	0.6028
12 2.900	0.6079
13 2.828	0.5926
14 2.745	0.5752
15 2.071	0.5122
16 2.007	0.5093
17 2.786	0.5830
18 2.772	0.5810
19 2.717	0.5684
20 2.589	0.5425
21 2.592	0.5452
22 2.609	0.5469
23 2.512	0.5205
24 2.516	0.5273
25 2.343	0.4909

付図 - 2.3.4 自由減衰波形

NO. 77 鉛直2次 π - π (1回目) 計測器番号 2

最大加速度 = 7.75 (GAL) $F = 1.851$ HZ
 $T = 0.540$ SEC



$$\delta_1 = \frac{1}{4} \ln \frac{0.3522}{0.3201} = 0.0239$$

$$\delta_2 = \frac{1}{16} \ln \frac{0.3090}{0.2968} = 0.0025$$

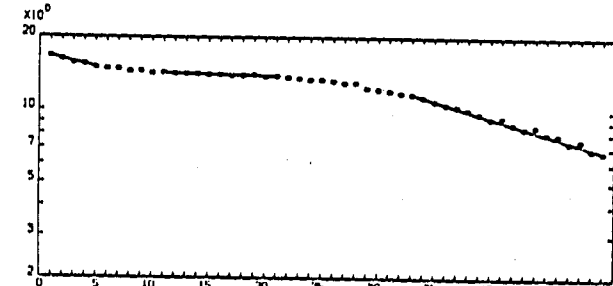
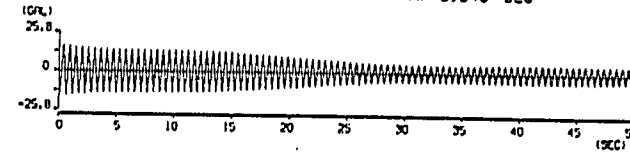
$$\delta_3 = \frac{1}{14} \ln \frac{0.2336}{0.1423} = 0.0354$$

加速度 (gal)	変位 (mm)		
1 4.785	0.3522	26	3.930 0.2905
2 4.605	0.3404	27	3.890 0.2875
3 4.535	0.3352	28	3.800 0.2809
4 4.365	0.3241	29	3.740 0.2764
5 4.330	0.3201	30	3.695 0.2731
6 4.280	0.3184	31	3.605 0.2665
7 4.195	0.3101	32	3.505 0.2591
8 4.180	0.3090	33	3.440 0.2543
9 4.135	0.3058	34	3.325 0.2458
10 4.135	0.3058	35	3.240 0.2395
11 4.110	0.3036	36	3.160 0.2330
12 4.135	0.3058	37	3.045 0.2251
13 4.115	0.3042	38	2.985 0.2192
14 4.145	0.3064	39	2.875 0.2125
15 4.125	0.3049	40	2.740 0.2025
16 4.120	0.3045	41	2.675 0.1977
17 4.150	0.3068	42	2.585 0.1898
18 4.125	0.3049	43	2.485 0.1822
19 4.155	0.3071	44	2.395 0.1770
20 4.100	0.3031	45	2.290 0.1691
21 4.110	0.3036	46	2.215 0.1637
22 4.075	0.3012	47	2.115 0.1563
23 4.070	0.3008	48	2.065 0.1526
24 4.015	0.2968	49	1.955 0.1445
25 3.970	0.2935	50	1.825 0.1423

付図-2.4.1 自由減衰波形

NO. 94 鉛直2次 π - π (1回目) 計測器番号 19

最大加速度 = 25.80 (GAL) $F = 1.852$ HZ
 $T = 0.540$ SEC



$$\delta_1 = \frac{1}{4} \ln \frac{1.2317}{1.1088} = 0.0263$$

$$\delta_2 = \frac{1}{10} \ln \frac{1.0574}{1.0274} = 0.0029$$

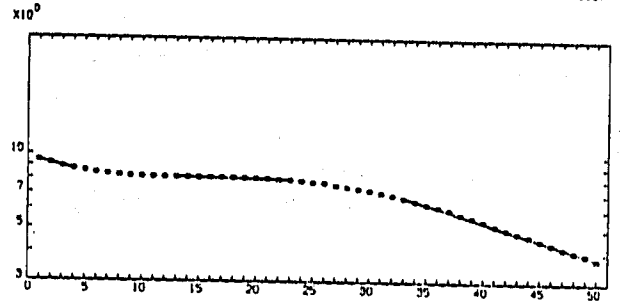
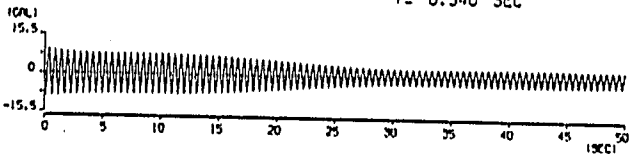
$$\delta_3 = \frac{1}{17} \ln \frac{0.8646}{0.4984} = 0.0324$$

加速度 (gal)	変位 (mm)		
1 10.675	1.2317	26	13.298 0.9913
2 10.207	1.1971	27	13.076 0.9621
3 10.015	1.1533	28	13.037 0.9629
4 10.490	1.1441	29	12.413 0.9168
5 10.017	1.1099	30	12.260 0.9076
6 14.825	1.0950	31	12.101 0.8938
7 14.783	1.0919	32	11.841 0.8746
8 14.440	1.0866	33	11.705 0.8646
9 14.544	1.0743	34	11.584 0.8408
10 14.743	1.0590	35	10.957 0.8093
11 14.515	1.0534	36	10.635 0.7855
12 14.701	1.0489	37	10.406 0.7686
13 14.701	1.0489	38	10.115 0.7471
14 14.191	1.0482	39	9.762 0.7210
15 14.070	1.0397	40	9.504 0.6972
16 14.097	1.0412	41	9.377 0.6926
17 13.962	1.0313	42	9.016 0.6512
18 13.962	1.0313	43	8.473 0.6258
19 14.066	1.0289	44	8.590 0.6350
20 13.627	1.0213	45	8.047 0.5943
21 13.910	1.0274	46	7.922 0.5851
22 13.723	1.0136	47	7.402 0.5467
23 13.606	1.0071	48	7.516 0.5552
24 13.421	0.9913	49	6.913 0.5106
25 13.421	0.9913	50	6.747 0.4984

付図-2.4.3 自由減衰波形

NO. 82 鉛直2次 π - π (1回目) 計測器番号 7

最大加速度 = 15.49 (GAL) $F = 1.851$ HZ
 $T = 0.540$ SEC



$$\delta_1 = \frac{1}{3} \ln \frac{0.6947}{0.6440} = 0.0253$$

$$\delta_2 = \frac{1}{10} \ln \frac{0.5994}{0.5856} = 0.0023$$

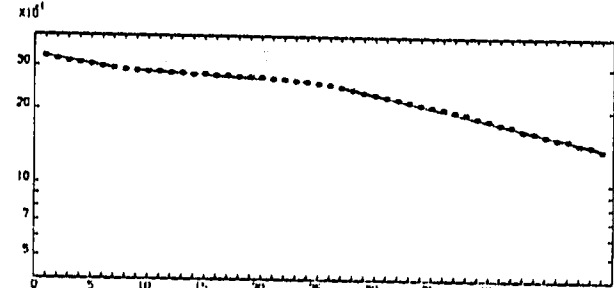
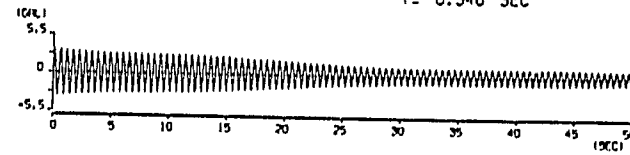
$$\delta_3 = \frac{1}{17} \ln \frac{0.4933}{0.2782} = 0.0337$$

加速度 (gal)	変位 (mm)		
1 0.308	0.6947	26	7.724 0.5710
2 0.144	0.6702	27	7.527 0.5564
3 0.099	0.6570	28	7.433 0.5494
4 0.712	0.6440	29	7.308 0.5402
5 0.568	0.6332	30	7.184 0.5310
6 0.400	0.6209	31	7.017 0.5187
7 0.527	0.6155	32	6.861 0.5072
8 0.234	0.6096	33	6.715 0.4953
9 0.182	0.6048	34	6.498 0.4803
10 0.150	0.6025	35	6.310 0.4684
11 0.130	0.6029	36	6.144 0.4542
12 0.119	0.6012	37	5.989 0.4476
13 0.109	0.5994	38	5.749 0.4249
14 0.119	0.6002	39	5.583 0.4127
15 0.098	0.5978	40	5.406 0.3995
16 0.090	0.5986	41	5.190 0.3875
17 0.099	0.5986	42	5.011 0.3704
18 0.088	0.5978	43	4.845 0.3581
19 0.087	0.5963	44	4.695 0.3471
20 0.097	0.5955	45	4.522 0.3343
21 0.038	0.5940	46	4.356 0.3220
22 7.943	0.5871	47	4.190 0.3097
23 7.922	0.5856	48	4.024 0.2997
24 7.848	0.5802	49	3.950 0.2920
25 7.745	0.5725	50	3.793 0.2792

付図-2.4.2 自由減衰波形

NO. 73 鉛直2次 π - π (1回目) 計測器番号 22

最大加速度 = 5.49 (GAL) $F = 1.851$ HZ
 $T = 0.540$ SEC



$$\delta_1 = \frac{1}{6} \ln \frac{0.2426}{0.2172} = 0.0184$$

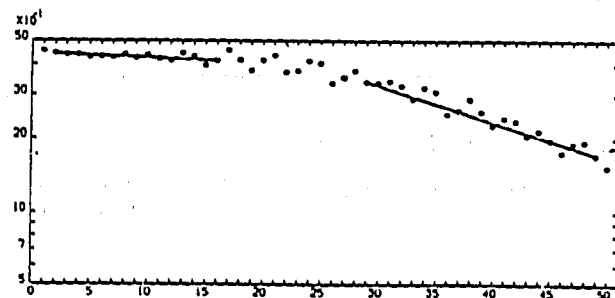
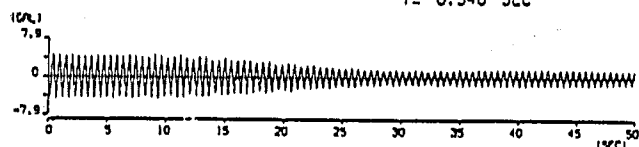
$$\delta_2 = \frac{1}{15} \ln \frac{0.2120}{0.1932} = 0.0062$$

$$\delta_3 = \frac{1}{23} \ln \frac{0.1835}{0.1025} = 0.0253$$

加速度 (gal)	変位 (mm)		
1 3.281	0.2426	26	2.542 0.1878
2 3.183	0.2360	27	2.482 0.1835
3 3.122	0.2308	28	2.429 0.1796
4 3.094	0.2287	29	2.382 0.1746
5 3.037	0.2245	30	2.318 0.1712
6 2.984	0.2208	31	2.263 0.1673
7 2.938	0.2172	32	2.217 0.1639
8 2.889	0.2135	33	2.184 0.1600
9 2.898	0.2120	34	2.107 0.1568
10 2.854	0.2109	35	2.072 0.1532
11 2.850	0.2107	36	2.033 0.1503
12 2.818	0.2083	37	1.977 0.1461
13 2.815	0.2081	38	1.938 0.1432
14 2.776	0.2052	39	1.871 0.1385
15 2.793	0.2065	40	1.826 0.1351
16 2.762	0.2041	41	1.761 0.1302
17 2.758	0.2035	42	1.733 0.1281
18 2.730	0.2018	43	1.658 0.1226
19 2.723	0.2013	44	1.634 0.1208
20 2.716	0.2003	45	1.581 0.1168
21 2.684	0.1984	46	1.530 0.1137
22 2.670	0.1973	47	1.524 0.1127
23 2.631	0.1945	48	1.404 0.1082
24 2.613	0.1932	49	1.446 0.1089
25 2.571	0.1900	50	1.386 0.1025

付図-2.4.4 自由減衰波形

NO. 101 鉛直2次モード(2回目) 計測器番号 2
最大加速度 = 7.90 (GAL) F = 1.851 HZ
T = 0.540 SEC



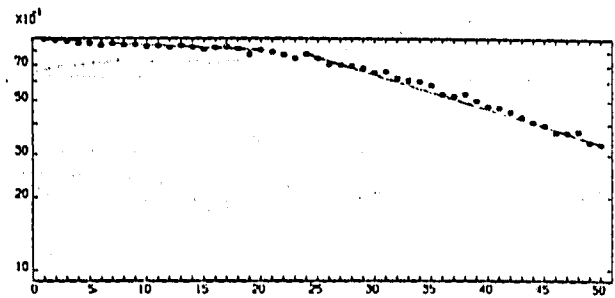
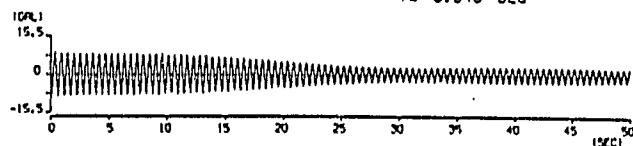
$$\delta_2 = \frac{1}{16} \ln \frac{0.3275}{0.3082} = 0.0038$$

$$\delta_3 = \frac{1}{24} \ln \frac{0.2990}{0.1268} = 0.0357$$

加速度 (gal)	変位 (mm)				
1	4.535	0.3352	26	3.360	0.2484
2	4.430	0.3275	27	3.540	0.2517
3	4.360	0.3230	28	3.780	0.2794
4	4.375	0.3234	29	3.400	0.2513
5	4.275	0.3160	30	3.365	0.2487
6	4.290	0.3171	31	3.425	0.2532
7	4.203	0.3153	32	3.275	0.2421
8	4.360	0.3236	33	2.800	0.2144
9	4.240	0.3134	34	3.230	0.2366
10	4.300	0.3223	35	3.110	0.2229
11	4.215	0.3116	36	2.525	0.1866
12	4.140	0.3090	37	2.610	0.1929
13	4.430	0.3275	38	2.610	0.2151
14	4.310	0.3186	39	2.575	0.1903
15	3.975	0.2926	40	2.270	0.1676
16	4.140	0.3060	41	2.430	0.1796
17	4.565	0.3374	42	2.360	0.1744
18	4.190	0.3082	43	2.070	0.1530
19	3.760	0.2801	44	2.150	0.1599
20	4.160	0.3075	45	1.975	0.1460
21	4.350	0.3215	46	1.755	0.1297
22	3.725	0.2753	47	1.910	0.1412
23	3.770	0.2787	48	1.945	0.1436
24	4.135	0.3056	49	1.715	0.1266
25	4.045	0.2990	50	1.525	0.1135

付図-2.5.1 自由減衰波形

NO. 106 鉛直2次モード(2回目) 計測器番号 7
最大加速度 = 15.51 (GAL) F = 1.852 HZ
T = 0.540 SEC



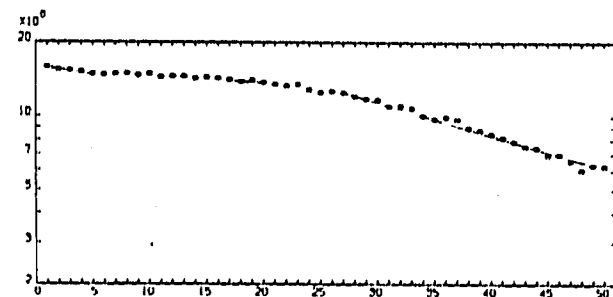
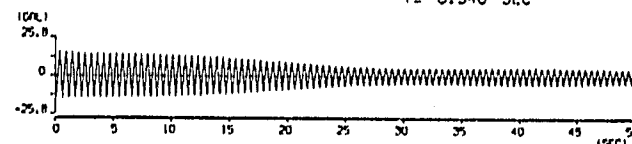
$$\delta_2 = \frac{1}{19} \ln \frac{0.6565}{0.5951} = 0.0052$$

$$\delta_3 = \frac{1}{26} \ln \frac{0.5728}{0.2450} = 0.0327$$

加速度 (gal)	変位 (mm)			
0.899	0.5595	26	7.038	0.5199
0.764	0.6473	27	7.017	0.5193
0.701	0.6427	28	6.965	0.5145
0.535	0.6304	29	6.801	0.5030
0.540	0.6312	30	6.524	0.4822
0.378	0.6199	31	6.561	0.4861
0.535	0.6304	32	6.196	0.4577
0.431	0.6227	33	6.050	0.4469
0.483	0.6266	34	5.988	0.4423
0.327	0.6151	35	5.780	0.4269
0.379	0.6199	36	5.312	0.3924
0.254	0.6057	37	5.220	0.3902
0.410	0.6212	38	5.325	0.3912
0.296	0.6126	39	5.000	0.3693
0.109	0.5999	40	4.730	0.3444
0.205	0.6105	41	4.666	0.3448
0.306	0.6135	42	4.491	0.3317
0.171	0.6035	43	4.273	0.3156
7.714	0.5698	44	4.075	0.3010
0.057	0.5991	45	3.950	0.2918
7.911	0.5844	46	3.681	0.2720
7.714	0.5698	47	3.701	0.2734
7.454	0.5558	48	3.732	0.2757
7.755	0.5720	49	3.378	0.2496
7.444	0.5498	50	3.316	0.2450

付図-2.5.2 自由減衰波形

NO. 118 鉛直2次モード(2回目) 計測器番号 19
最大加速度 = 25.76 (GAL) F = 1.852 HZ
T = 0.540 SEC



$$\delta_1 = \frac{1}{3} \ln \frac{1.1702}{1.1211} = 0.0143$$

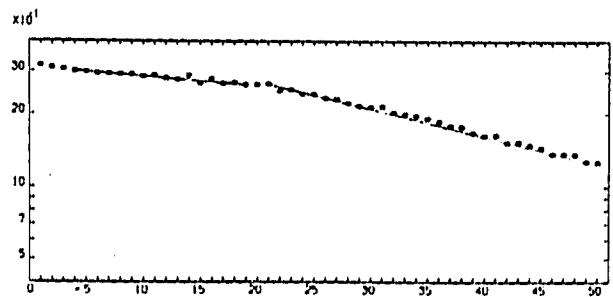
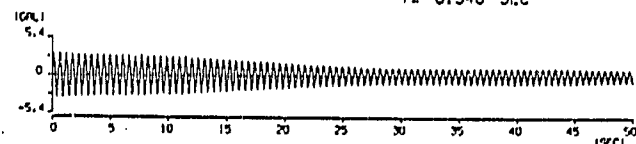
$$\delta_2 = \frac{1}{12} \ln \frac{1.1034}{1.0151} = 0.0070$$

$$\delta_3 = \frac{1}{22} \ln \frac{0.9199}{0.4607} = 0.0314$$

	加速度 (gal)	変位 (mm)			
1	15.844	1.1702	26	12.621	0.9322
2	15.438	1.1403	27	12.454	0.9199
3	15.302	1.1349	28	12.028	0.8884
4	15.170	1.1211	29	11.740	0.8677
5	14.877	1.0980	30	11.654	0.8609
6	14.723	1.0912	31	10.968	0.8101
7	14.687	1.0905	32	11.030	0.8147
8	14.939	1.1034	33	10.391	0.7671
9	14.700	1.0856	34	10.045	0.7418
10	14.690	1.1004	35	9.751	0.7203
11	14.440	1.0666	36	9.907	0.7316
12	14.554	1.0760	37	9.700	0.7104
13	14.505	1.0750	38	9.941	0.6934
14	14.204	1.0551	39	9.785	0.6848
15	14.440	1.0666	40	9.473	0.6528
16	13.829	1.0251	41	7.516	0.5552
17	14.128	1.0435	42	7.059	0.5495
18	14.050	1.0800	43	7.433	0.5483
19	14.315	1.0754	44	6.182	0.4651
20	14.128	1.0435	45	7.059	0.5495
21	13.829	1.0251	46	6.550	0.4838
22	13.526	0.9844	47	6.033	0.4499
23	13.504	0.9875	48	6.988	0.5160
24	13.526	0.9844	49	6.550	0.4838
25	12.718	0.9468	50	6.300	0.4653
26	12.490	0.9230		6.298	0.4647

付図-2.5.3 自由減衰波形

NO. 97 鉛直2次モード(2回目) 計測器番号 22
最大加速度 = 5.45 (GAL) F = 1.851 HZ
T = 0.540 SEC



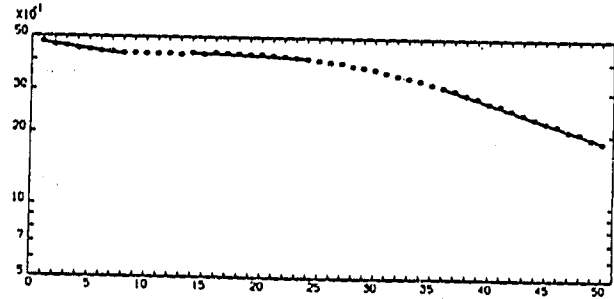
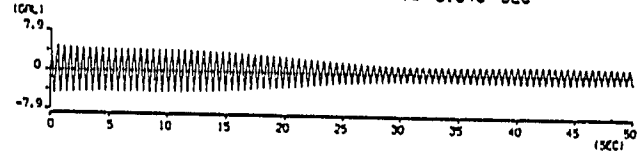
$$\delta_2 = \frac{1}{15} \ln \frac{0.2211}{0.1952} = 0.0083$$

$$\delta_3 = \frac{1}{28} \ln \frac{0.1968}{0.0938} = 0.0265$$

	加速度 (gal)	変位 (mm)		
1	3.168	0.2342	26	2.327 0.1720
2	3.098	0.2290	27	2.302 0.1702
3	3.050	0.2201	28	2.214 0.1636
4	2.992	0.2211	29	2.153 0.1592
5	2.977	0.2201	30	2.136 0.1579
6	2.935	0.2169	31	2.145 0.1584
7	2.926	0.2164	32	2.073 0.1495
8	2.910	0.2151	33	1.987 0.1409
9	2.914	0.2154	34	1.959 0.1446
10	2.854	0.2108	35	1.902 0.1411
11	2.882	0.2130	36	1.853 0.1370
12	2.801	0.2070	37	1.774 0.1315
13	2.768	0.2047	38	1.764 0.1304
14	2.708	0.2120	39	1.685 0.1234
15	2.677	0.1979	40	1.627 0.1202
16	2.790	0.2052	41	1.630 0.1205
17	2.677	0.1979	42	1.521 0.1124
18	2.684	0.1962	43	1.526 0.1129
19	2.641	0.1952	44	1.415 0.1068
20	2.641	0.1952	45	1.443 0.1066
21	2.603	0.1866	46	1.365 0.1029
22	2.489	0.1840	47	1.365 0.1029
23	2.518	0.1861	48	1.358 0.1024
24	2.419	0.1798	49	1.289 0.0939
25	2.415	0.1779	50	1.259 0.0930

付図-2.5.4 自由減衰波形

NO. 149 鉛直2次モード(4回目) 計測器番号 2
最大加速度 = 7.91 (GAL) F = 1.851 HZ
T = 0.540 SEC



$$\delta_1 = \frac{1}{3} \epsilon_n \frac{0.3504}{0.3300} = 0.0200$$

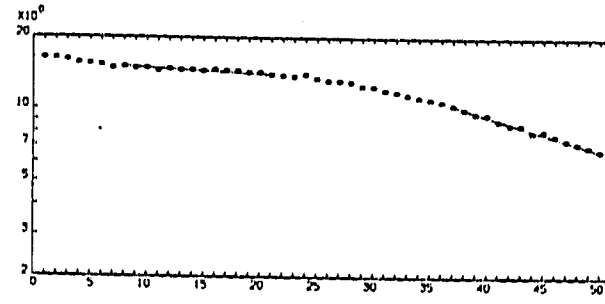
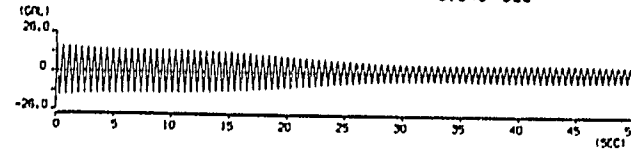
$$\delta_2 = \frac{1}{11} \epsilon_n \frac{0.3164}{0.3134} = 0.0009$$

$$\delta_3 = \frac{1}{11} \epsilon_n \frac{0.2262}{0.1512} = 0.0366$$

加速度 (gal)	変位 (mm)		
1 4.740	0.3504	26 3.955	0.2923
2 4.500	0.3400	27 3.930	0.2905
3 4.580	0.3371	28 3.925	0.2877
4 4.405	0.3300	29 3.775	0.2760
5 4.415	0.3203	30 3.705	0.2739
6 4.345	0.3212	31 3.600	0.2661
7 4.325	0.3197	32 3.500	0.2597
8 4.280	0.3184	33 3.430	0.2535
9 4.280	0.3184	34 3.340	0.2489
10 4.205	0.3153	35 3.235	0.2391
11 4.235	0.3145	36 3.145	0.2325
12 4.280	0.3184	37 3.080	0.2262
13 4.245	0.3138	38 2.925	0.2162
14 4.315	0.3190	39 2.950	0.2107
15 4.260	0.3149	40 2.710	0.2003
16 4.320	0.3193	41 2.655	0.1962
17 4.290	0.3171	42 2.530	0.1895
18 4.260	0.3184	43 2.445	0.1807
19 4.240	0.3134	44 2.350	0.1737
20 4.275	0.3145	45 2.205	0.1674
21 4.210	0.3112	46 2.000	0.1626
22 4.170	0.3082	47 2.005	0.1541
23 4.125	0.3049	48 2.045	0.1512
24 4.065	0.3016	49 1.935	0.1430
25 4.020	0.2971	50 1.870	0.1362

付図-2.6.1 自由減衰波形

NO. 165 鉛直2次モード(4回目) 計測器番号 19
最大加速度 = 26.02 (GAL) F = 1.852 HZ
T = 0.540 SEC



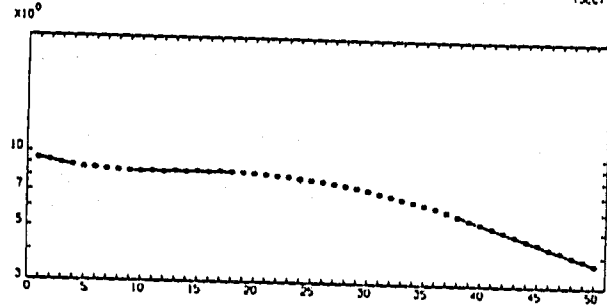
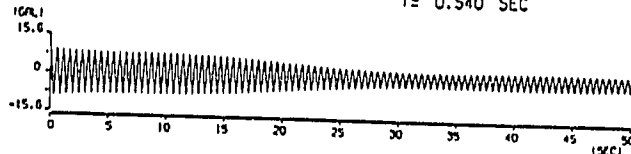
$$\delta_2 = \frac{1}{13} \epsilon_n \frac{1.1065}{1.0336} = 0.0052$$

$$\delta_3 = \frac{1}{13} \epsilon_n \frac{0.7717}{0.4999} = 0.0334$$

加速度 (gal)	変位 (mm)		
1 18.270	1.2017	26 13.203	0.9753
2 18.240	1.2002	27 13.182	0.9737
3 15.980	1.1810	28 13.078	0.9660
4 15.521	1.1404	29 12.538	0.9261
5 15.417	1.1399	30 12.475	0.9215
6 15.230	1.1249	31 12.059	0.8907
7 14.804	1.0935	32 11.841	0.8748
8 14.981	1.1005	33 11.540	0.8523
9 14.752	1.0906	34 11.240	0.8308
10 14.835	1.0935	35 11.051	0.8163
11 14.450	1.0673	36 10.812	0.7986
12 14.742	1.0906	37 10.448	0.7717
13 14.590	1.0773	38 10.053	0.7425
14 14.617	1.0795	39 9.648	0.7120
15 14.450	1.0673	40 9.584	0.7064
16 14.038	1.0812	41 8.982	0.6634
17 14.502	1.0712	42 8.670	0.6404
18 14.471	1.0699	43 8.649	0.6399
19 14.274	1.0543	44 8.047	0.5843
20 14.264	1.0551	45 7.871	0.5703
21 13.993	1.0336	46 7.807	0.5707
22 13.848	1.0229	47 7.485	0.5529
23 13.733	1.0144	48 7.287	0.5381
24 14.014	1.0351	49 7.038	0.5181
25 13.504	0.9975	50 6.768	0.4999

付図-2.6.3 自由減衰波形

NO. 154 鉛直2次モード(4回目) 計測器番号 7
最大加速度 = 15.60 (GAL) F = 1.852 HZ
T = 0.540 SEC



$$\delta_1 = \frac{1}{3} \epsilon_n \frac{0.6903}{0.6527} = 0.0187$$

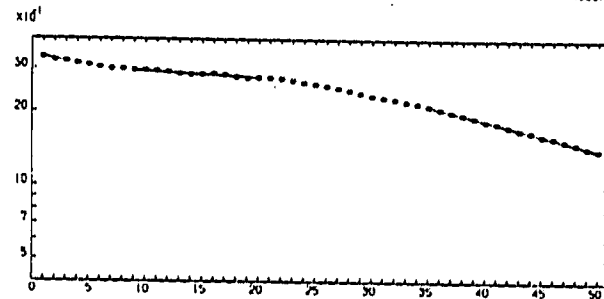
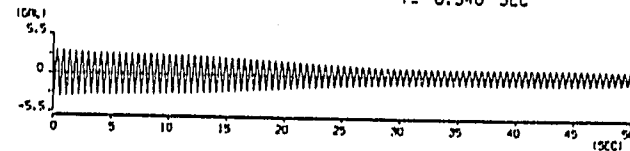
$$\delta_2 = \frac{1}{9} \epsilon_n \frac{0.6220}{0.6181} = 0.0007$$

$$\delta_3 = \frac{1}{12} \epsilon_n \frac{0.4230}{0.2749} = 0.0361$$

加速度 (gal)	変位 (mm)		
1 9.348	0.6903	26 7.745	0.5721
2 9.200	0.6796	27 7.610	0.5621
3 9.172	0.6827	28 7.475	0.5521
4 8.837	0.6527	29 7.350	0.5429
5 8.681	0.6412	30 7.184	0.5300
6 8.620	0.6373	31 7.007	0.5175
7 8.525	0.6297	32 6.830	0.5045
8 8.402	0.6251	33 6.664	0.4922
9 8.421	0.6270	34 6.487	0.4792
10 8.368	0.6181	35 6.321	0.4669
11 8.410	0.6212	36 6.154	0.4548
12 8.348	0.6160	37 5.930	0.4385
13 8.442	0.6235	38 5.739	0.4229
14 8.369	0.6181	39 5.531	0.4095
15 8.431	0.6227	40 5.354	0.3955
16 8.390	0.6197	41 5.167	0.3810
17 8.431	0.6227	42 4.990	0.3680
18 8.369	0.6181	43 4.813	0.3556
19 8.330	0.6150	44 4.637	0.3425
20 8.275	0.6112	45 4.491	0.3317
21 8.273	0.6074	46 4.294	0.3171
22 8.119	0.5997	47 4.179	0.3037
23 8.047	0.5943	48 4.002	0.2956
24 7.943	0.5887	49 3.868	0.2872
25 7.850	0.5782	50 3.722	0.2749

付図-2.6.2 自由減衰波形

NO. 145 鉛直2次モード(4回目) 計測器番号 22
最大加速度 = 5.52 (GAL) F = 1.852 HZ
T = 0.540 SEC



$$\delta_1 = \frac{1}{5} \epsilon_n \frac{0.2466}{0.2251} = 0.0182$$

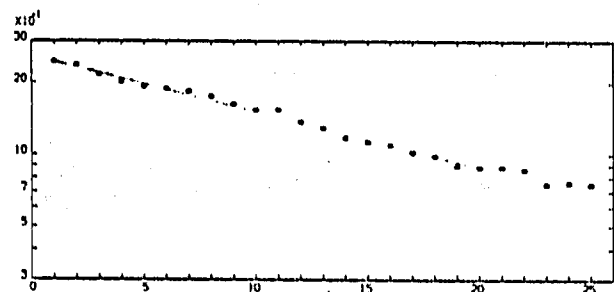
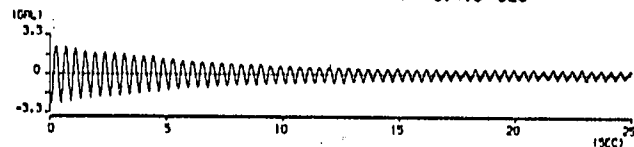
$$\delta_2 = \frac{1}{11} \epsilon_n \frac{0.2186}{0.2048} = 0.0059$$

$$\delta_3 = \frac{1}{15} \epsilon_n \frac{0.1567}{0.1045} = 0.0270$$

加速度 (gal)	変位 (mm)		
1 3.338	0.2466	26 2.587	0.1990
2 3.230	0.2400	27 2.518	0.1990
3 3.218	0.2377	28 2.451	0.1918
4 3.158	0.2332	29 2.397	0.1771
5 3.108	0.2298	30 2.337	0.1720
6 3.048	0.2251	31 2.295	0.1695
7 2.999	0.2215	32 2.250	0.1689
8 2.992	0.2210	33 2.210	0.1632
9 2.960	0.2196	34 2.175	0.1608
10 2.907	0.2181	35 2.122	0.1567
11 2.946	0.2176	36 2.080	0.1520
12 2.921	0.2157	37 2.008	0.1484
13 2.868	0.2116	38 1.960	0.1452
14 2.847	0.2103	39 1.908	0.1409
15 2.857	0.2110	40 1.850	0.1350
16 2.875	0.2123	41 1.807	0.1335
17 2.850	0.2105	42 1.747	0.1290
18 2.793	0.2083	43 1.697	0.1254
19 2.758	0.2037	44 1.648	0.1233
20 2.772	0.2048	45 1.612	0.1191
21 2.785	0.2044	46 1.568	0.1173
22 2.748	0.2029	47 1.538	0.1136
23 2.694	0.1990	48 1.498	0.1105
24 2.648	0.1950	49 1.443	0.1090
25 2.613	0.1930	50 1.414	0.1045

付図-2.6.4 自由減衰波形

NO. 1 鉛直3次モード(1回目) 計測器番号 22
最大加速度 = 3.34 (GAL) F = 2.390 HZ
T = 0.418 SEC

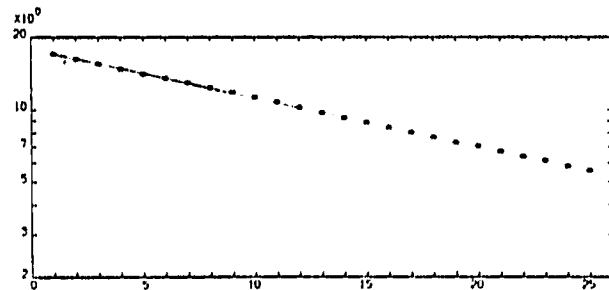
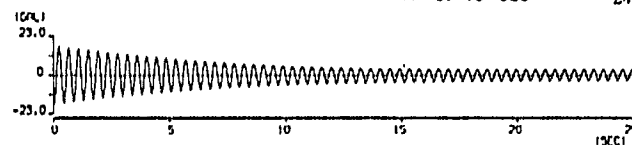


$$\delta = \frac{1}{19} \epsilon_n = \frac{0.1090}{0.0391} = 0.0540$$

加速度 (gal)	変位 (mm)
1 2.458	0.1090
2 2.380	0.1055
3 2.188	0.0981
4 2.011	0.0892
5 1.822	0.0852
6 1.688	0.0817
7 1.644	0.0818
8 1.754	0.0778
9 1.631	0.0723
10 1.542	0.0684
11 1.542	0.0684
12 1.374	0.0609
13 1.298	0.0575
14 1.173	0.0520
15 1.129	0.0500
16 1.095	0.0480
17 1.017	0.0451
18 0.983	0.0435
19 0.894	0.0396
20 0.863	0.0391
21 0.803	0.0371
22 0.800	0.0362
23 0.749	0.0332
24 0.760	0.0337
25 0.749	0.0332

付図-2.7.1 自由減衰波形

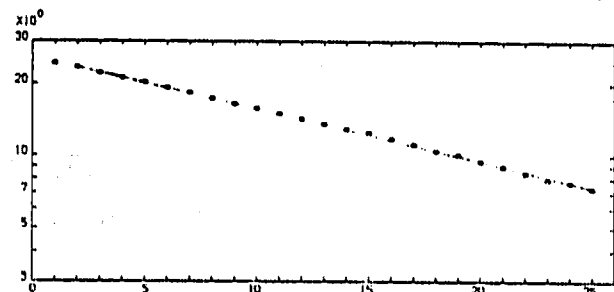
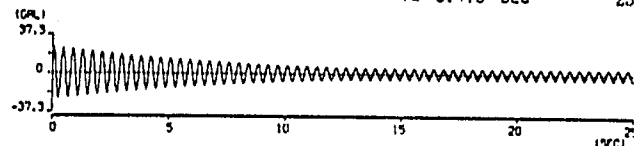
NO. 15 鉛直3次モード(1回目) 計測器番号 12
最大加速度 = 23.02 (GAL) F = 2.388 HZ
T = 0.419 SEC $\delta = \frac{1}{24} \epsilon_n = \frac{0.7570}{0.2471} = 0.0466$



加速度 (gal)	変位 (mm)
1 17.030	0.7570
2 16.176	0.7187
3 15.478	0.6854
4 14.090	0.6126
5 14.014	0.6270
6 13.504	0.6000
7 12.933	0.5740
8 12.319	0.5473
9 11.831	0.5256
10 11.240	0.4997
11 10.735	0.4771
12 10.200	0.4556
13 9.710	0.4314
14 9.271	0.4087
15 8.826	0.3921
16 8.410	0.3737
17 8.015	0.3561
18 7.667	0.3404
19 7.246	0.3219
20 7.028	0.3127
21 6.664	0.2981
22 6.362	0.2827
23 6.134	0.2725
24 5.790	0.2569
25 5.567	0.2471

付図-2.7.3 自由減衰波形

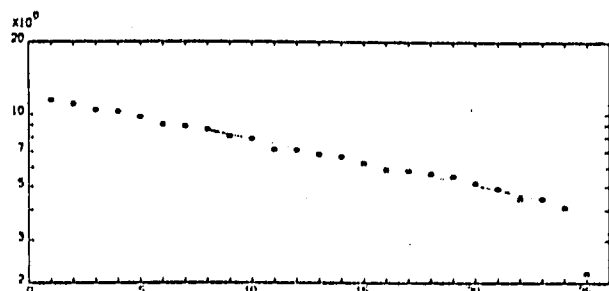
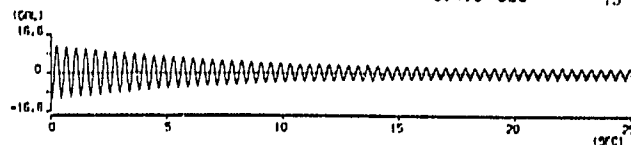
NO. 5 鉛直3次モード(1回目) 計測器番号 2
最大加速度 = 37.26 (GAL) F = 2.385 HZ
T = 0.419 SEC $\delta = \frac{1}{23} \epsilon_n = \frac{1.0394}{0.3227} = 0.0501$



加速度 (gal)	変位 (mm)
1 24.300	1.0617
2 23.350	1.0394
3 22.150	0.9890
4 21.150	0.9414
5 20.300	0.9036
6 19.200	0.8540
7 18.300	0.8140
8 17.300	0.7701
9 16.450	0.7322
10 15.750	0.7011
11 15.000	0.6677
12 14.250	0.6343
13 13.550	0.6031
14 12.850	0.5720
15 12.400	0.5520
16 11.700	0.5209
17 11.100	0.4941
18 10.400	0.4629
19 10.050	0.4474
20 9.400	0.4184
21 8.950	0.3984
22 8.400	0.3739
23 7.900	0.3516
24 7.700	0.3427
25 7.250	0.3227

付図-2.7.2 自由減衰波形

NO. 22 鉛直3次モード(1回目) 計測器番号 19
最大加速度 = 16.57 (GAL) F = 2.437 HZ
T = 0.410 SEC $\delta = \frac{1}{15} \epsilon_n = \frac{0.3681}{0.1882} = 0.0444$



加速度 (gal)	変位 (mm)
1 11.470	0.4884
2 11.054	0.4716
3 10.431	0.4450
4 10.257	0.4370
5 9.703	0.4140
6 9.010	0.3844
7 8.671	0.3785
8 8.629	0.3681
9 8.074	0.3445
10 7.901	0.3371
11 7.104	0.3031
12 7.009	0.3010
13 6.792	0.2828
14 6.053	0.2639
15 6.230	0.2661
16 5.856	0.2459
17 5.827	0.2404
18 5.649	0.2410
19 5.510	0.2351
20 5.163	0.2203
21 4.880	0.2085
22 4.436	0.1882
23 4.430	0.1892
24 4.089	0.1745
25 2.103	0.0931

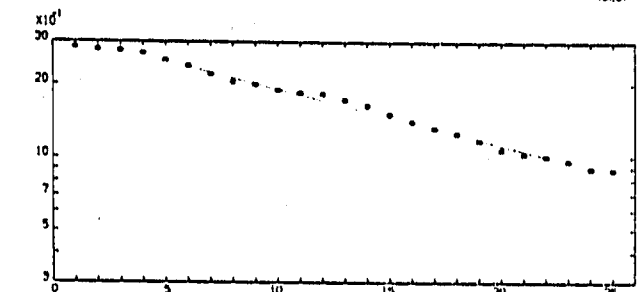
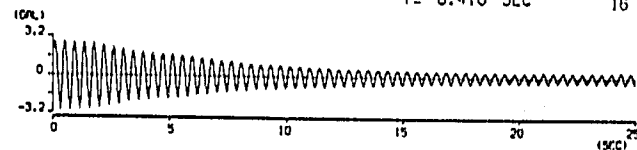
付図-2.7.4 自由減衰波形

NO. 49 鉛直3次モード (3回目) 計測器番号 22

最大加速度 = 3.18 (GAL)

F = 2.390 HZ
T = 0.418 SEC

$$\delta = \frac{1}{16} \varepsilon_n = \frac{2.380}{1.006} = 0.0532$$



	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	2.849	0.1263
2	2.782	0.1234
3	2.760	0.1224
4	2.693	0.1194
5	2.514	0.1115
6	2.300	0.1055
7	2.190	0.0971
8	2.045	0.0907
9	1.989	0.0882
10	1.888	0.0837
11	1.844	0.0818
12	1.821	0.0809
13	1.721	0.0763
14	1.631	0.0723
15	1.508	0.0669
16	1.408	0.0624
17	1.319	0.0585
18	1.251	0.0555
19	1.173	0.0520
20	1.073	0.0476
21	1.028	0.0456
22	1.006	0.0446
23	0.901	0.0426
24	0.894	0.0399
25	0.883	0.0391

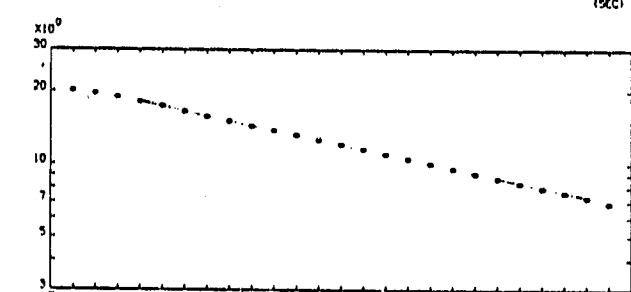
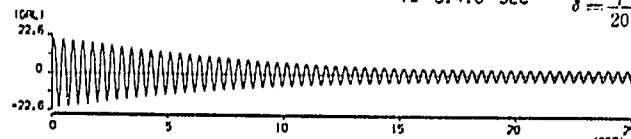
付図-2.8.1 自由減衰波形

NO. 63 鉛直3次モード (3回目) 計測器番号 12

最大加速度 = 22.61 (GAL)

F = 2.390 HZ
T = 0.418 SEC

$$\delta = \frac{1}{20} \varepsilon_n = \frac{0.8012}{0.3213} = 0.0457$$



	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	20.137	0.8920
2	19.586	0.8695
3	18.879	0.8372
4	18.059	0.8012
5	17.361	0.7699
6	16.488	0.7311
7	15.750	0.6984
8	15.085	0.6689
9	14.388	0.6380
10	13.816	0.6127
11	13.255	0.5878
12	12.673	0.5619
13	12.143	0.5394
14	11.607	0.5145
15	11.020	0.4880
16	10.531	0.4670
17	10.083	0.4462
18	9.575	0.4246
19	9.117	0.4043
20	8.712	0.3863
21	8.306	0.3683
22	7.927	0.3517
23	7.595	0.3370
24	7.240	0.3213
25	6.872	0.3047

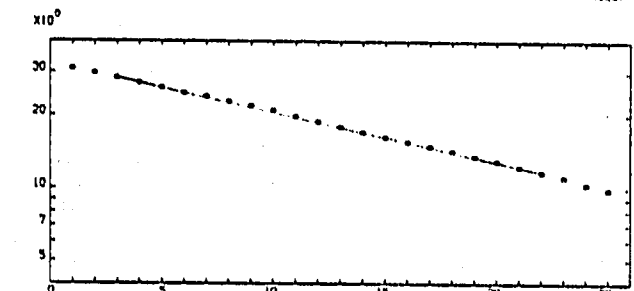
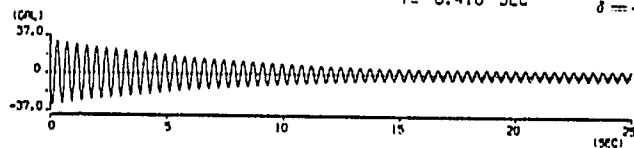
付図-2.8.3 自由減衰波形

NO. 53 鉛直3次モード (3回目) 計測器番号 2

最大加速度 = 36.96 (GAL)

F = 2.390 HZ
T = 0.418 SEC

$$\delta = \frac{1}{19} \varepsilon_n = \frac{1.2571}{0.5166} = 0.0468$$



	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	36.850	1.3680
2	34.650	1.3148
3	30.350	1.2571
4	27.100	1.2017
5	25.900	1.1495
6	24.700	1.0953
7	23.850	1.0576
8	22.800	1.0110
9	21.050	0.9609
10	20.900	0.9200
11	19.750	0.8750
12	18.850	0.8359
13	17.900	0.7937
14	17.050	0.7560
15	16.250	0.7200
16	15.450	0.6895
17	14.900	0.6607
18	14.250	0.6319
19	13.550	0.6020
20	12.950	0.5742
21	12.250	0.5432
22	11.650	0.5168
23	11.100	0.4922
24	10.350	0.4589
25	9.850	0.4360

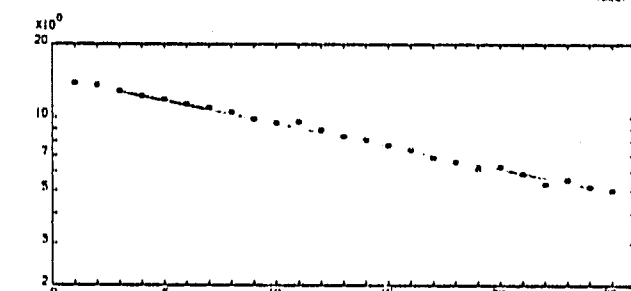
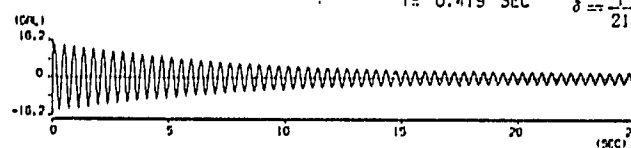
付図-2.8.2 自由減衰波形

NO. 70 鉛直3次モード (3回目) 計測器番号 19

最大加速度 = 16.20 (GAL)

F = 2.388 HZ
T = 0.419 SEC

$$\delta = \frac{1}{21} \varepsilon_n = \frac{0.5712}{0.2294} = 0.0434$$



	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	13.827	0.5143
2	13.584	0.5035
3	12.850	0.5712
4	12.757	0.5440
5	11.888	0.5281
6	11.360	0.5050
7	10.995	0.4880
8	10.535	0.4680
9	9.876	0.4390
10	9.530	0.4234
11	9.599	0.4205
12	8.986	0.3957
13	8.386	0.3726
14	8.109	0.3603
15	7.683	0.3416
16	7.381	0.3279
17	6.827	0.3053
18	6.550	0.2910
19	6.134	0.2725
20	6.272	0.2767
21	5.858	0.2602
22	5.307	0.2366
23	5.345	0.2463
24	5.103	0.2294
25	4.980	0.2217

付図-2.8.4 自由減衰波形

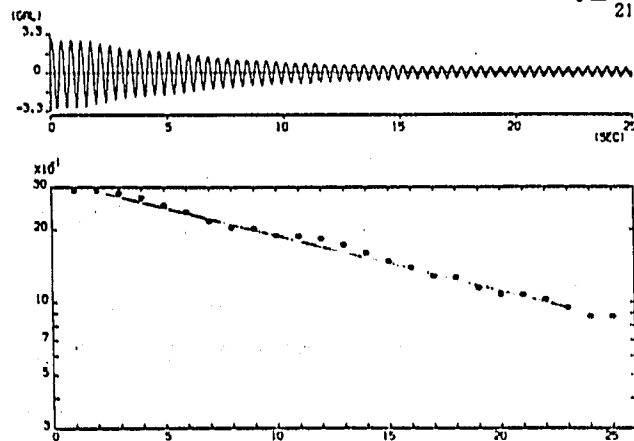
NO. 73 鉛直3次モード (4 回目) 計測器番号 22

最大加速度 = 3.29 (GAL)

F = 2.390 HZ

T = 0.418 SEC

$$\delta = \frac{1}{21} \ell_n = \frac{2.894}{0.950} = 0.0530$$



付図 - 2.9.1 自由減衰波形

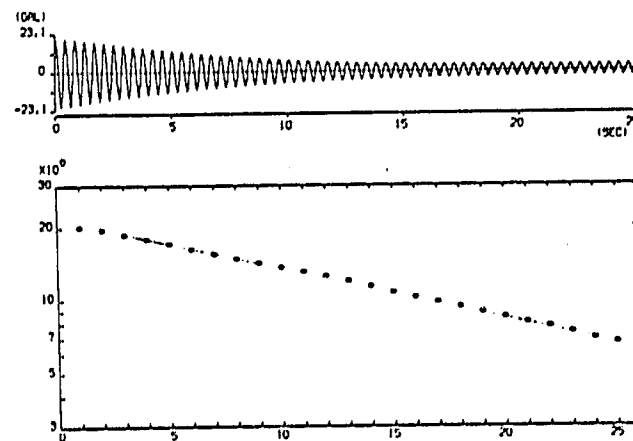
NO. 87 鉛直3次モード (4 回目) 計測器番号 12

最大加速度 = 23.13 (GAL)

F = 2.388 HZ

T = 0.419 SEC

$$\delta = \frac{1}{21} \ell_n = \frac{0.8304}{0.3067} = 0.0474$$



付図 - 2.9.3 自由減衰波形

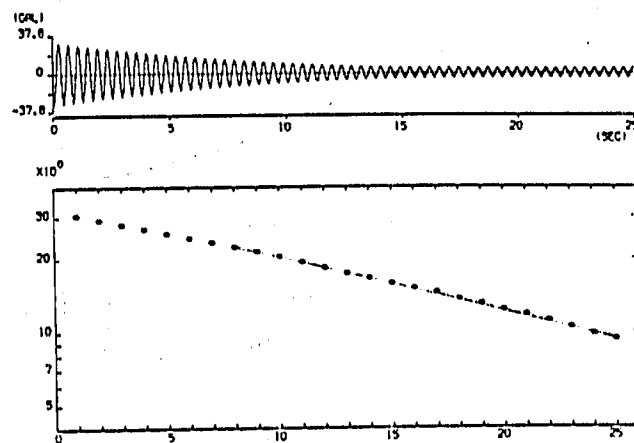
NO. 77 鉛直3次モード (4 回目) 計測器番号 2

最大加速度 = 37.76 (GAL)

F = 2.388 HZ

T = 0.419 SEC

$$\delta = \frac{1}{17} \ell_n = \frac{0.9974}{0.4132} = 0.0518$$



付図 - 2.9.2 自由減衰波形

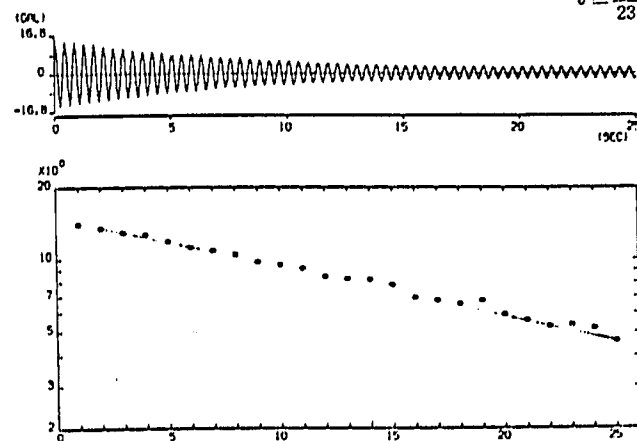
NO. 94 鉛直3次モード (4 回目) 計測器番号 19

最大加速度 = 16.80 (GAL)

F = 2.385 HZ

T = 0.419 SEC

$$\delta = \frac{1}{23} \ell_n = \frac{0.5985}{0.2036} = 0.0469$$

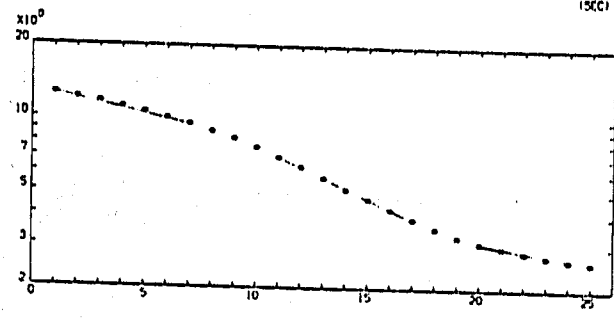
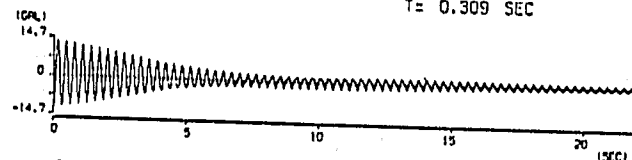


付図 - 2.9.4 自由減衰波形

NO. 145 鉛直4次モード (2回目) 計測器番号 22

最大加速度=14.68 (GAL)

F = 3.238 HZ
T = 0.309 SEC



$$\delta_1 = \frac{1}{6} \epsilon_n = \frac{0.3028}{0.2289} = 0.0466$$

$$\delta_2 = \frac{1}{6} \epsilon_n = \frac{6.917}{3.866} = 0.0070$$

$$\delta_3 = \frac{1}{5} \epsilon_n = \frac{3.095}{2.604} = 0.0345$$

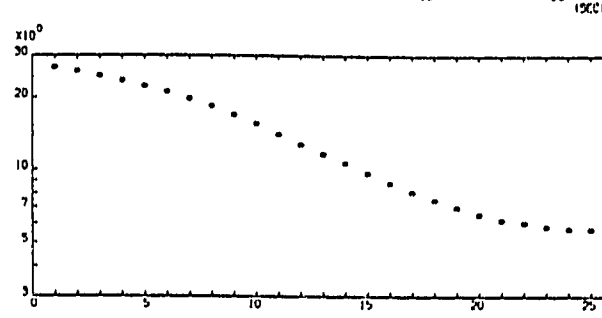
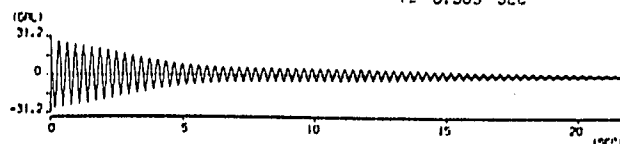
	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	12.537	0.3028
2	12.057	0.2812
3	11.643	0.2612
4	11.095	0.2077
5	10.593	0.2559
6	10.034	0.2424
7	9.476	0.2289
8	8.839	0.2135
9	8.280	0.2000
10	7.598	0.1835
11	6.917	0.1671
12	6.324	0.1529
13	5.698	0.1376
14	5.129	0.1239
15	4.571	0.1096
16	4.235	0.1023
17	3.866	0.0934
18	3.553	0.0858
19	3.274	0.0791
20	3.022	0.0748
21	2.872	0.0718
22	2.848	0.0688
23	2.749	0.0664
24	2.659	0.0642
25	2.604	0.0629

付図-2.10.1 自由減衰波形

NO. 159 鉛直4次モード (2回目) 計測器番号 12

最大加速度=31.21 (GAL)

F = 3.234 HZ
T = 0.309 SEC



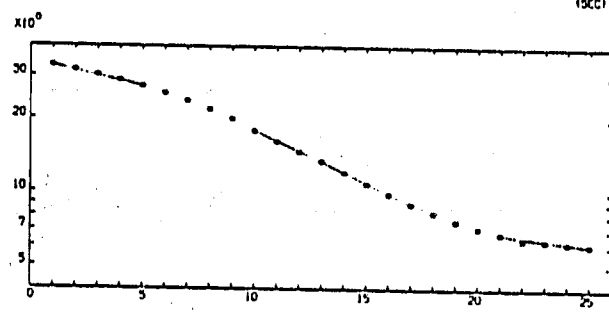
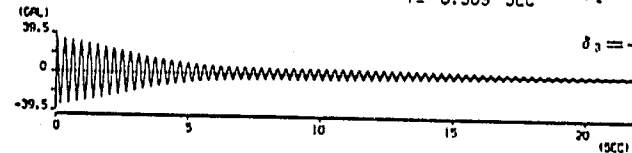
	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	26.697	0.6405
2	25.782	0.6244
3	24.649	0.5958
4	23.537	0.5703
5	22.299	0.5400
6	21.145	0.5121
7	19.752	0.4783
8	18.443	0.4466
9	16.987	0.4114
10	15.584	0.3775
11	14.087	0.3411
12	12.777	0.3094
13	11.623	0.2815
14	10.667	0.2588
15	9.698	0.2368
16	8.818	0.2155
17	8.088	0.1959
18	7.498	0.1815
19	6.986	0.1692
20	6.529	0.1581
21	6.108	0.1500
22	5.850	0.1465
23	5.622	0.1410
24	5.218	0.1395
25	5.687	0.1377

付図-2.10.3 自由減衰波形

NO. 149 鉛直4次モード (2回目) 計測器番号 2

最大加速度=39.50 (GAL)

F = 3.238 HZ
T = 0.309 SEC



$$\delta_1 = \frac{1}{4} \epsilon_n = \frac{0.7983}{0.6576} = 0.0485$$

$$\delta_2 = \frac{1}{7} \epsilon_n = \frac{0.4305}{0.2162} = 0.0984$$

$$\delta_3 = \frac{1}{4} \epsilon_n = \frac{0.1636}{0.1473} = 0.0262$$

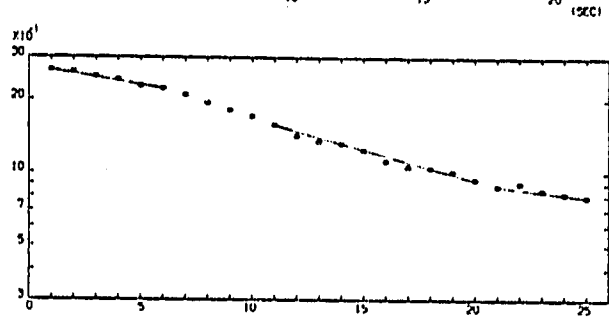
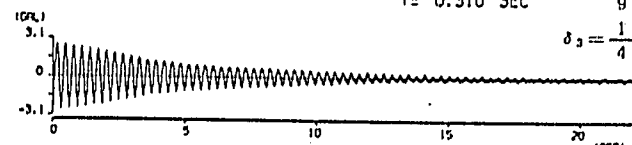
	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	35.050	0.7983
2	31.600	0.7633
3	30.200	0.7295
4	28.750	0.6844
5	27.225	0.6576
6	25.425	0.6141
7	23.650	0.5712
8	21.825	0.5272
9	19.050	0.4619
10	17.825	0.4305
11	16.050	0.3977
12	14.575	0.3520
13	13.350	0.3225
14	12.000	0.2899
15	10.800	0.2609
16	9.625	0.2373
17	8.350	0.2162
18	8.225	0.1987
19	7.600	0.1836
20	7.125	0.1721
21	6.775	0.1636
22	6.400	0.1548
23	6.350	0.1534
24	6.225	0.1504
25	6.100	0.1473

付図-2.10.2 自由減衰波形

NO. 162 鉛直4次モード (2回目) 計測器番号 15

最大加速度=3.13 (GAL)

F = 3.226 HZ
T = 0.310 SEC



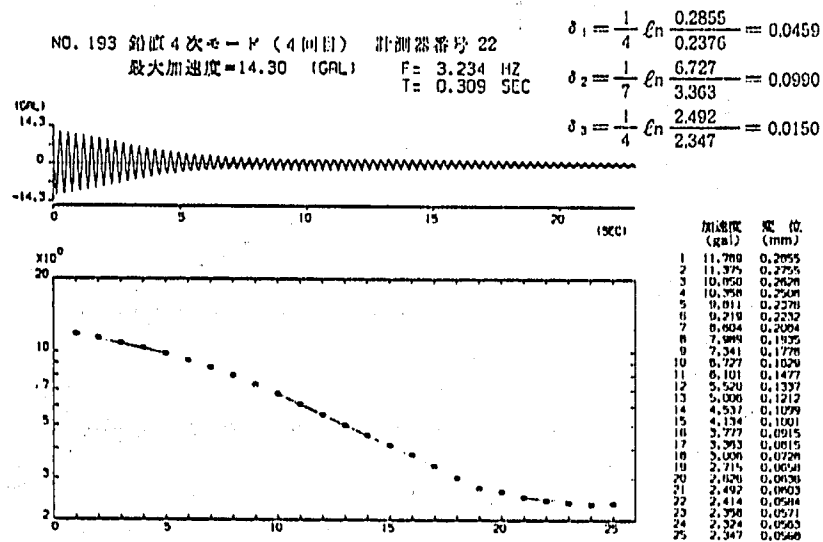
$$\delta_1 = \frac{1}{5} \epsilon_n = \frac{2.651}{2.232} = 0.0344$$

$$\delta_2 = \frac{1}{9} \epsilon_n = \frac{1.579}{0.937} = 0.0580$$

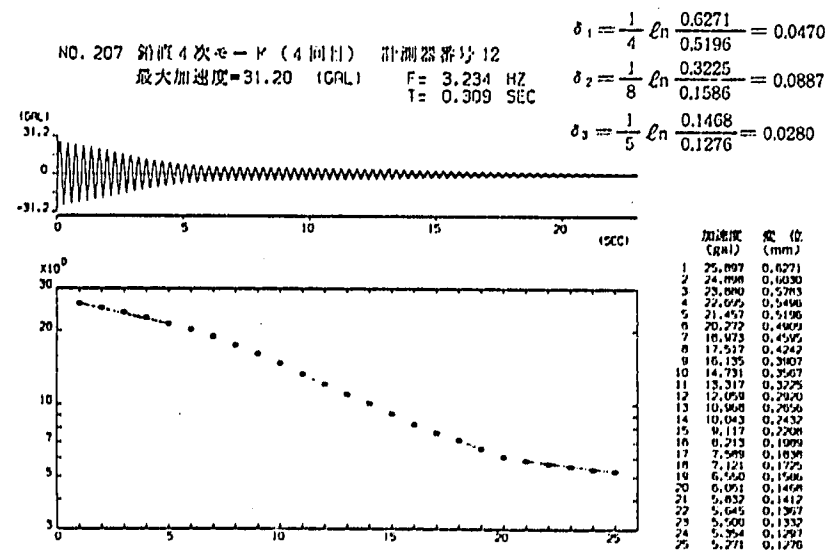
$$\delta_3 = \frac{1}{4} \epsilon_n = \frac{0.880}{0.792} = 0.0263$$

	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	2.651	0.0645
2	2.606	0.0634
3	2.492	0.0607
4	2.423	0.0560
5	2.283	0.0550
6	2.237	0.0543
7	2.092	0.0510
8	1.944	0.0475
9	1.812	0.0441
10	1.712	0.0417
11	1.579	0.0384
12	1.417	0.0345
13	1.348	0.0326
14	1.319	0.0321
15	1.237	0.0301
16	1.117	0.0272
17	1.057	0.0257
18	1.048	0.0255
19	1.012	0.0246
20	0.937	0.0226
21	0.880	0.0214
22	0.807	0.0221
23	0.648	0.0207
24	0.618	0.0199
25	0.792	0.0193

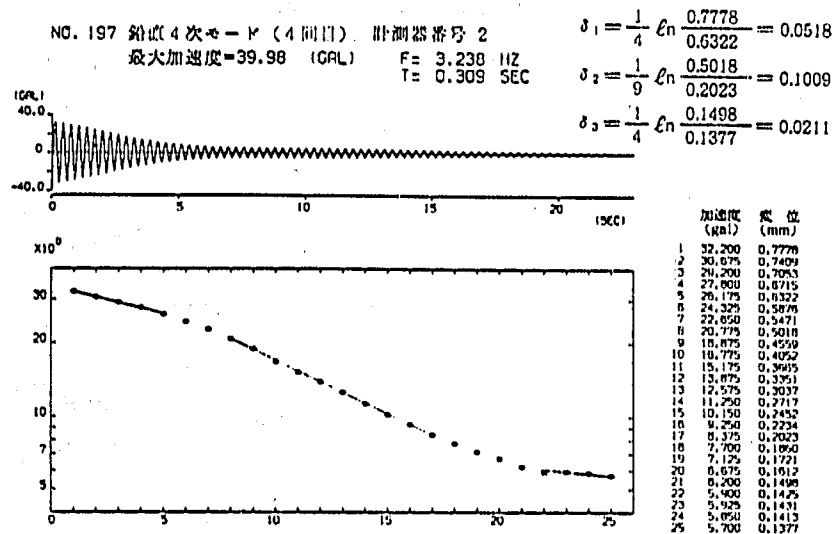
付図-2.10.4 自由減衰波形



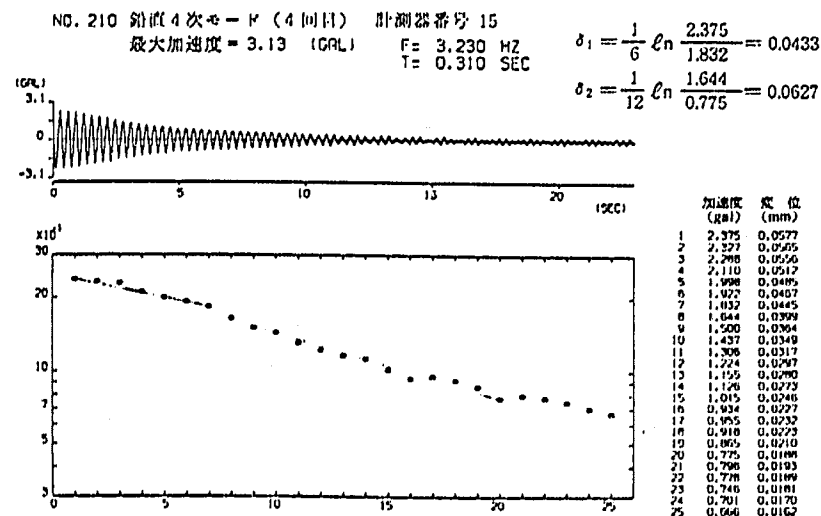
付図-2.11.1 自由減衰波形



付図-2.11.3 自由減衰波形

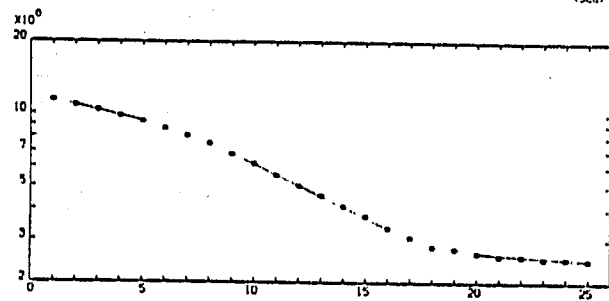
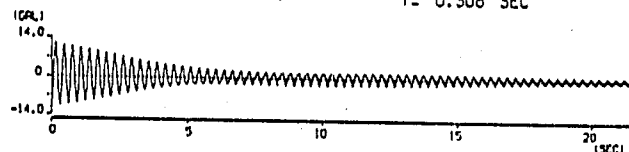


付図-2.11.2 自由減衰波形



付図-2.11.4 自由減衰波形

NO. 217 鉛直4次元-Y (5回目) 計測器番号 22
最大加速度=13.98 (GAL) F= 3.247 HZ
T= 0.308 SEC



$$\delta_1 = \frac{1}{4} \ln \frac{0.2723}{0.2231} = 0.0498$$

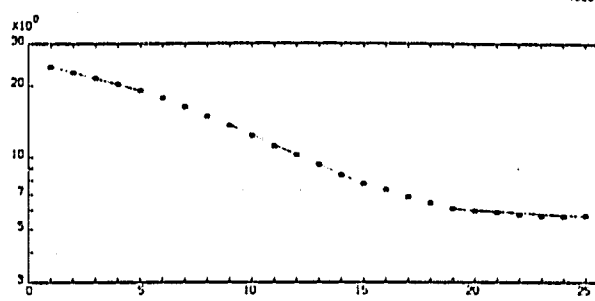
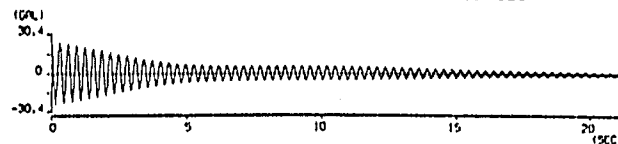
$$\delta_2 = \frac{1}{7} \ln \frac{6.771}{3.352} = 0.1004$$

$$\delta_3 = \frac{1}{5} \ln \frac{2.648}{2.481} = 0.0130$$

加減度 (gal)	変位 (mm)
1 11.330	0.2723
2 10.794	0.2594
3 10.347	0.2486
4 9.777	0.2349
5 9.296	0.2231
6 8.671	0.2094
7 8.056	0.1936
8 7.487	0.1799
9 6.771	0.1627
10 6.179	0.1495
11 5.531	0.1329
12 5.017	0.1209
13 4.570	0.1099
14 4.123	0.0991
15 3.754	0.0902
16 3.352	0.0806
17 3.082	0.0726
18 2.818	0.0671
19 2.760	0.0643
20 2.648	0.0636
21 2.570	0.0618
22 2.570	0.0618
23 2.514	0.0604
24 2.514	0.0604
25 2.481	0.0596

付図-2.12.1 自由減衰波形

NO. 231 鉛直4次元-Y (5回目) 計測器番号 12
最大加速度=30.36 (GAL) F= 3.238 HZ
T= 0.309 SEC



$$\delta_1 = \frac{1}{4} \ln \frac{0.5786}{0.4610} = 0.0568$$

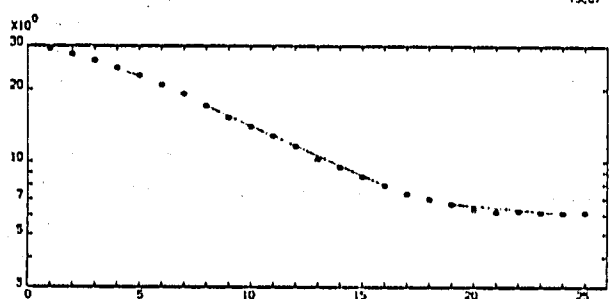
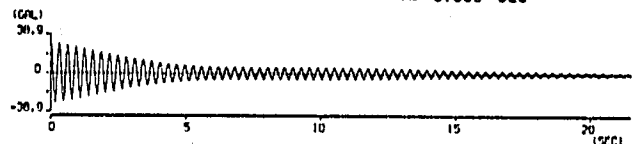
$$\delta_2 = \frac{1}{6} \ln \frac{0.3274}{0.1866} = 0.0937$$

$$\delta_3 = \frac{1}{6} \ln \frac{0.1466}{0.1371} = 0.0112$$

加減度 (gal)	変位 (mm)
1 23.952	0.5786
2 22.709	0.5484
3 21.551	0.5205
4 20.314	0.4907
5 19.087	0.4610
6 17.715	0.4279
7 16.748	0.3825
8 14.835	0.3283
9 13.526	0.3274
10 12.267	0.2983
11 11.093	0.2679
12 10.199	0.2403
13 9.304	0.2247
14 8.421	0.2034
15 7.724	0.1866
16 7.208	0.1763
17 6.749	0.1642
18 6.404	0.1547
19 6.071	0.1466
20 5.426	0.1431
21 5.063	0.1410
22 5.707	0.1379
23 5.035	0.1361
24 5.035	0.1361
25 5.076	0.1371

付図-2.12.3 自由減衰波形

NO. 221 鉛直4次元-Y (5回目) 計測器番号 2
最大加速度=36.89 (GAL) F= 3.238 HZ
T= 0.309 SEC



$$\delta_1 = \frac{1}{4} \ln \frac{0.7053}{0.5480} = 0.0627$$

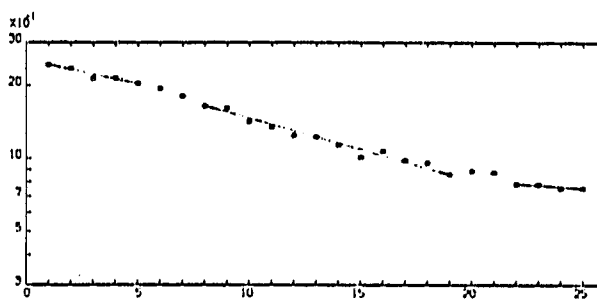
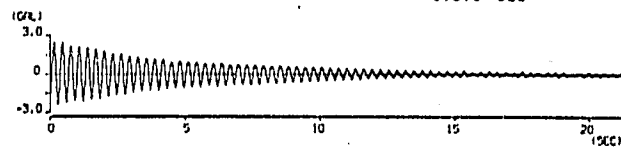
$$\delta_2 = \frac{1}{8} \ln \frac{0.4118}{0.1914} = 0.0958$$

$$\delta_3 = \frac{1}{5} \ln \frac{0.1606}{0.1473} = 0.0173$$

加減度 (gal)	変位 (mm)
1 20.200	0.7053
2 27.800	0.6715
3 26.300	0.6353
4 24.475	0.5912
5 22.725	0.5489
6 20.875	0.5030
7 19.125	0.4620
8 17.050	0.4118
9 15.200	0.3671
10 13.950	0.3370
11 12.750	0.3080
12 11.525	0.2784
13 10.200	0.2484
14 9.400	0.2271
15 8.625	0.2083
16 7.925	0.1914
17 7.325	0.1789
18 6.875	0.1685
19 6.650	0.1603
20 6.375	0.1520
21 6.175	0.1482
22 6.225	0.1504
23 6.125	0.1479
24 6.100	0.1473
25 6.125	0.1470

付図-2.12.2 自由減衰波形

NO. 234 鉛直4次元-Y (5回目) 計測器番号 15
最大加速度=3.00 (GAL) F= 3.226 HZ
T= 0.310 SEC



$$\delta_1 = \frac{1}{4} \ln \frac{2.431}{2.038} = 0.0441$$

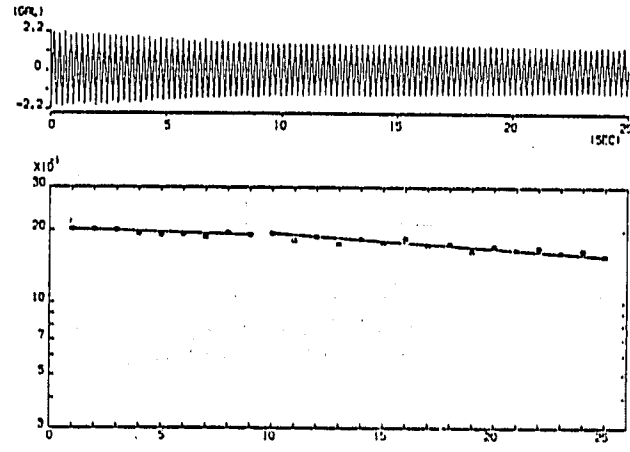
$$\delta_2 = \frac{1}{11} \ln \frac{1.645}{0.857} = 0.0593$$

$$\delta_3 = \frac{1}{3} \ln \frac{0.783}{0.753} = 0.0130$$

加減度 (gal)	変位 (mm)
1 2.431	0.0592
2 2.348	0.0572
3 2.137	0.0520
4 2.145	0.0522
5 2.030	0.0496
6 1.944	0.0473
7 1.804	0.0439
8 1.645	0.0400
9 1.612	0.0393
10 1.414	0.0344
11 1.340	0.0330
12 1.243	0.0303
13 1.223	0.0298
14 1.125	0.0275
15 1.008	0.0245
16 1.069	0.0260
17 0.979	0.0239
18 0.956	0.0233
19 0.857	0.0209
20 0.884	0.0215
21 0.872	0.0212
22 0.783	0.0191
23 0.782	0.0190
24 0.752	0.0183
25 0.753	0.0183

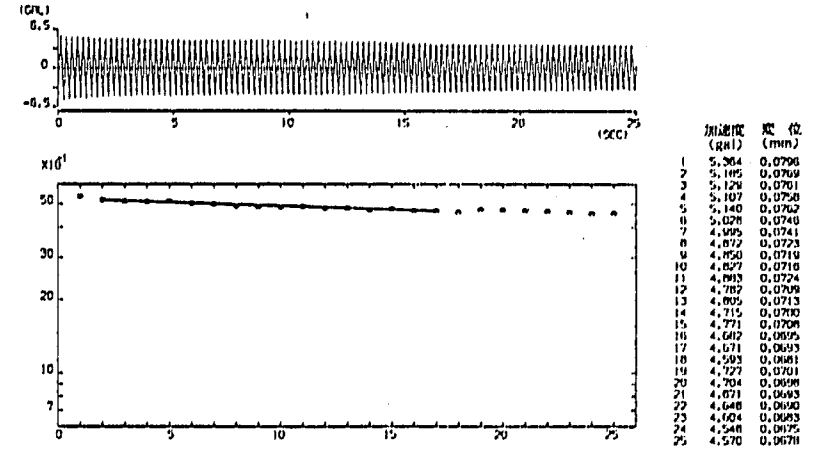
付図-2.12.4 自由減衰波形

NO. 4 ねじれ1次モード(1回目) 計測器番号 32
最大加速度 = 2.16 (GAL) F = 4.125 HZ
T = 0.242 SEC



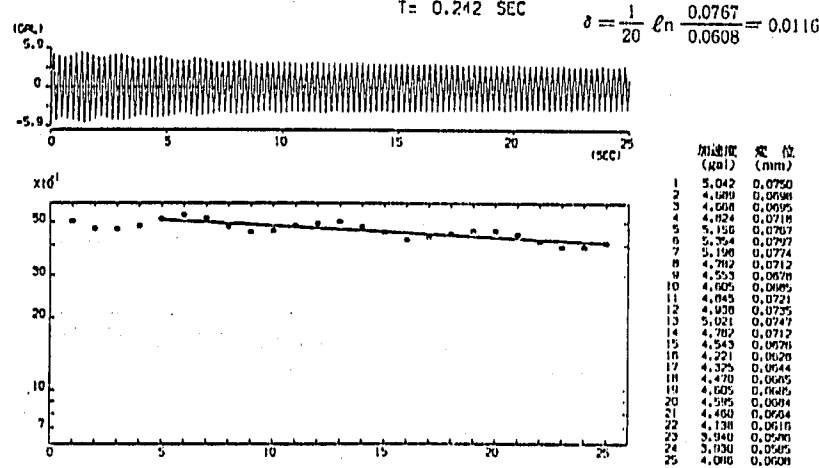
付図-2.13.1 自由減衰波形

NO. 16 ねじれ1次モード(1回目) 計測器番号 10
最大加速度 = 6.54 (GAL) F = 4.132 HZ
T = 0.242 SEC $\delta = \frac{1}{15} \ln \frac{0.0769}{0.0693} = 0.0086$



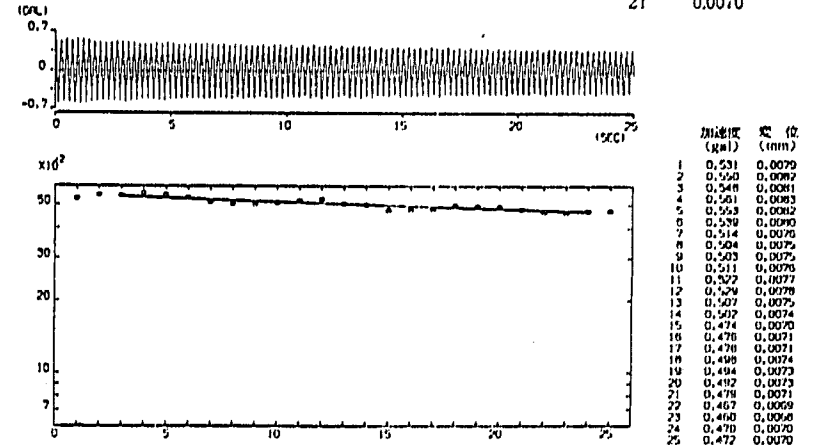
付図-2.13.3 自由減衰波形

NO. 13 ねじれ1次モード(1回目) 計測器番号 7
最大加速度 = 5.90 (GAL) F = 4.125 HZ
T = 0.242 SEC



付図-2.13.2 自由減衰波形

NO. 31 ねじれ1次モード(1回目) 計測器番号 25
最大加速度 = 0.68 (GAL) F = 4.132 HZ
T = 0.242 SEC $\delta = \frac{1}{21} \ln \frac{0.0081}{0.0070} = 0.0070$



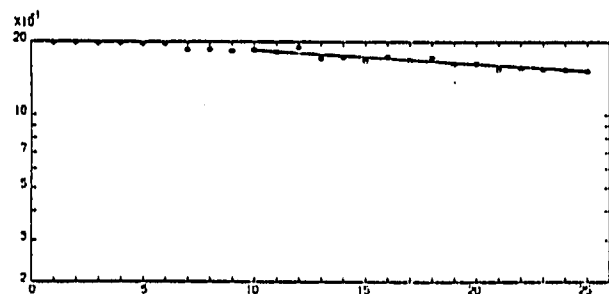
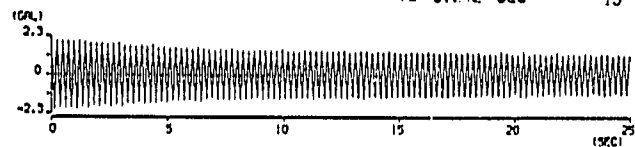
付図-2.13.4 自由減衰波形

NO. 40 ねじれ1次モード(2回目) 計測器番号 32

最大加速度 = 2.32 (GAL)

F = 4.125 HZ
T = 0.242 SEC

$$\delta = \frac{1}{15} \ell_n \frac{0.0276}{0.0226} = 0.0133$$



	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	1.984	0.0295
2	1.990	0.0296
3	1.984	0.0295
4	1.987	0.0296
5	1.989	0.0293
6	1.970	0.0293
7	1.875	0.0276
8	1.865	0.0276
9	1.835	0.0273
10	1.853	0.0276
11	1.819	0.0271
12	1.900	0.0283
13	1.708	0.0254
14	1.731	0.0258
15	1.673	0.0249
16	1.736	0.0258
17	1.683	0.0250
18	1.725	0.0257
19	1.626	0.0242
20	1.634	0.0243
21	1.548	0.0230
22	1.563	0.0233
23	1.544	0.0230
24	1.538	0.0229
25	1.521	0.0226

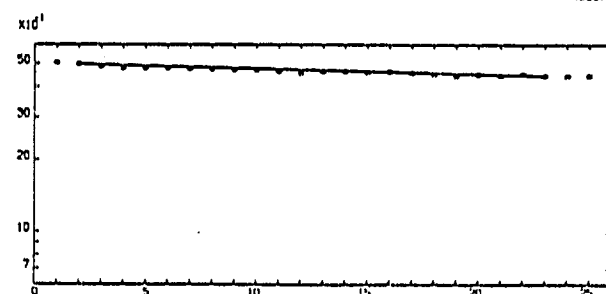
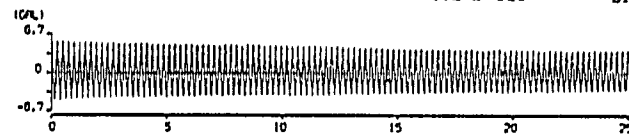
付図-2.14.1 自由減衰波形

NO. 52 ねじれ1次モード(2回目) 計測器番号 10

最大加速度 = 6.71 (GAL)

F = 4.132 HZ
T = 0.242 SEC

$$\delta = \frac{1}{21} \ell_n \frac{0.0739}{0.0661} = 0.0053$$



	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	5.039	0.0748
2	4.984	0.0739
3	4.983	0.0724
4	4.905	0.0713
5	4.794	0.0711
6	4.805	0.0713
7	4.780	0.0706
8	4.749	0.0704
9	4.704	0.0698
10	4.704	0.0698
11	4.637	0.0686
12	4.570	0.0678
13	4.637	0.0686
14	4.637	0.0686
15	4.604	0.0683
16	4.637	0.0686
17	4.570	0.0678
18	4.514	0.0670
19	4.486	0.0668
20	4.514	0.0670
21	4.458	0.0661
22	4.537	0.0675
23	4.458	0.0661
24	4.447	0.0660
25	4.458	0.0661

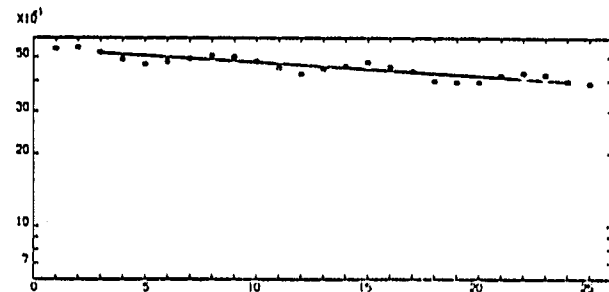
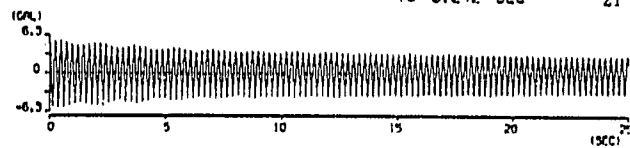
付図-2.14.3 自由減衰波形

NO. 49 ねじれ1次モード(2回目) 計測器番号 7

最大加速度 = 6.32 (GAL)

F = 4.125 HZ
T = 0.242 SEC

$$\delta = \frac{1}{21} \ell_n \frac{0.0778}{0.0591} = 0.0131$$



	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	5.406	0.0805
2	5.489	0.0817
3	5.229	0.0778
4	4.997	0.0729
5	4.668	0.0695
6	4.767	0.0712
7	4.830	0.0735
8	5.073	0.0755
9	5.011	0.0746
10	4.803	0.0715
11	4.512	0.0672
12	4.262	0.0634
13	4.450	0.0662
14	4.574	0.0681
15	4.741	0.0700
16	4.553	0.0678
17	4.368	0.0650
18	3.982	0.0593
19	3.950	0.0588
20	3.950	0.0588
21	4.200	0.0625
22	4.283	0.0637
23	4.221	0.0628
24	3.971	0.0591
25	3.988	0.0579

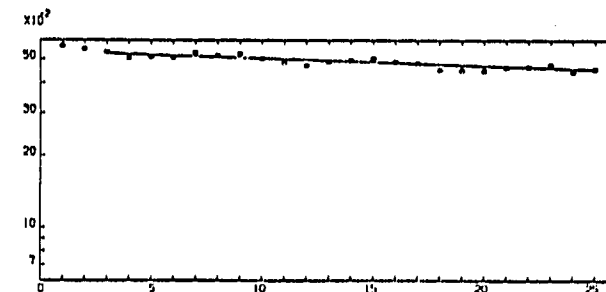
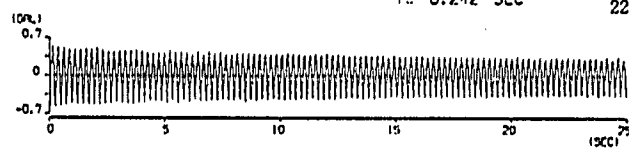
付図-2.14.2 自由減衰波形

NO. 67 ねじれ1次モード(2回目) 計測器番号 25

最大加速度 = 0.72 (GAL)

F = 4.125 HZ
T = 0.242 SEC

$$\delta = \frac{1}{22} \ell_n \frac{0.0080}{0.0068} = 0.0074$$



	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	0.568	0.0084
2	0.562	0.0082
3	0.538	0.0080
4	0.508	0.0075
5	0.513	0.0076
6	0.508	0.0076
7	0.534	0.0079
8	0.513	0.0077
9	0.529	0.0079
10	0.504	0.0075
11	0.484	0.0072
12	0.472	0.0070
13	0.486	0.0073
14	0.495	0.0074
15	0.504	0.0075
16	0.488	0.0073
17	0.480	0.0072
18	0.453	0.0067
19	0.451	0.0067
20	0.449	0.0067
21	0.461	0.0069
22	0.465	0.0069
23	0.476	0.0071
24	0.444	0.0066
25	0.456	0.0068

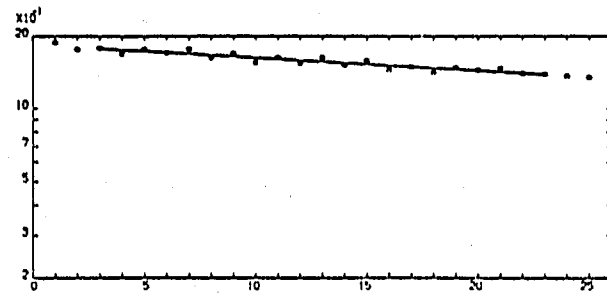
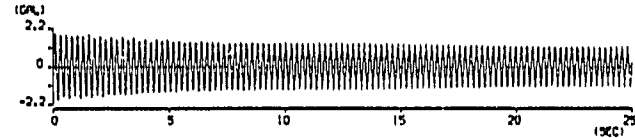
付図-2.14.4 自由減衰波形

NO. 76 ねじれ1次モード (3回目) 計測器番号 32

最大加速度 = 2.17 (GAL)

F = 4.125 HZ
T = 0.242 SEC

$$\delta = \frac{1}{22} \ln \frac{0.0266}{0.0207} = 0.0125$$



	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	1.762	0.0260
2	1.765	0.0263
3	1.766	0.0266
4	1.691	0.0252
5	1.765	0.0263
6	1.766	0.0254
7	1.766	0.0263
8	1.633	0.0243
9	1.700	0.0253
10	1.559	0.0232
11	1.634	0.0243
12	1.549	0.0230
13	1.631	0.0243
14	1.519	0.0226
15	1.562	0.0235
16	1.453	0.0216
17	1.495	0.0223
18	1.417	0.0211
19	1.484	0.0221
20	1.450	0.0216
21	1.476	0.0220
22	1.400	0.0209
23	1.392	0.0207
24	1.364	0.0203
25	1.348	0.0201

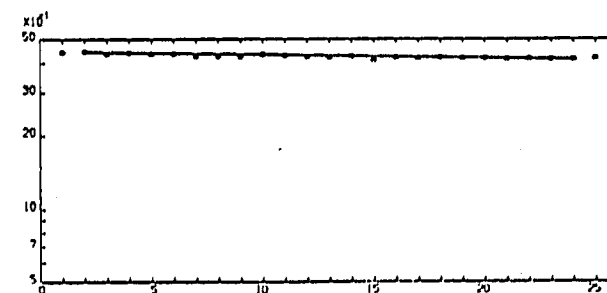
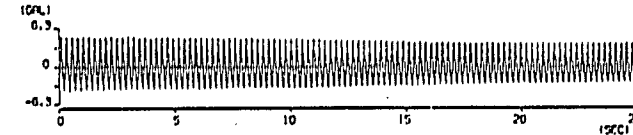
付図-2.15.1 自由減衰波形

NO. 88 ねじれ1次モード (3回目) 計測器番号 10

最大加速度 = 6.31 (GAL)

F = 4.125 HZ
T = 0.242 SEC

$$\delta = \frac{1}{22} \ln \frac{0.0662}{0.0614} = 0.0034$$



	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	4.414	0.0657
2	4.447	0.0662
3	4.347	0.0647
4	4.391	0.0654
5	4.335	0.0645
6	4.347	0.0647
7	4.235	0.0630
8	4.225	0.0630
9	4.224	0.0629
10	4.324	0.0644
11	4.257	0.0634
12	4.213	0.0627
13	4.201	0.0625
14	4.246	0.0632
15	4.078	0.0607
16	4.190	0.0624
17	4.166	0.0620
18	4.201	0.0622
19	4.168	0.0620
20	4.179	0.0622
21	4.134	0.0615
22	4.146	0.0617
23	4.134	0.0615
24	4.125	0.0614
25	4.168	0.0620

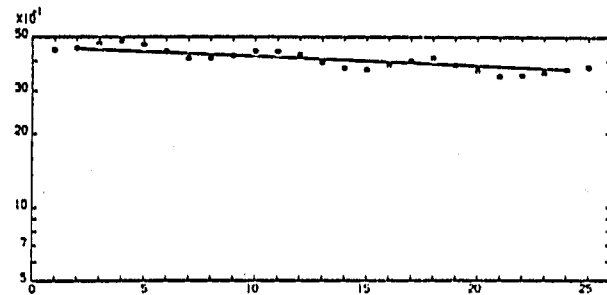
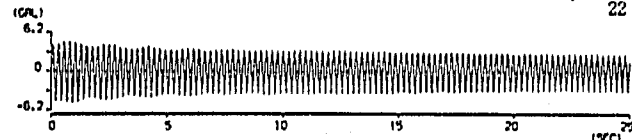
付図-2.15.3 自由減衰波形

NO. 85 ねじれ1次モード (3回目) 計測器番号 7

最大加速度 = 6.17 (GAL)

F = 4.125 HZ
T = 0.242 SEC

$$\delta = \frac{1}{22} \ln \frac{0.0672}{0.0548} = 0.0003$$



	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	4.429	0.0659
2	4.512	0.0672
3	4.720	0.0702
4	4.634	0.0719
5	4.698	0.0695
6	4.377	0.0651
7	4.096	0.0609
8	4.066	0.0609
9	4.190	0.0624
10	4.367	0.0653
11	4.365	0.0650
12	4.242	0.0631
13	3.930	0.0595
14	3.732	0.0552
15	3.670	0.0546
16	3.626	0.0549
17	3.522	0.0534
18	4.096	0.0610
19	3.636	0.0571
20	3.649	0.0543
21	3.451	0.0514
22	3.463	0.0518
23	3.566	0.0531
24	3.680	0.0545
25	3.763	0.0560

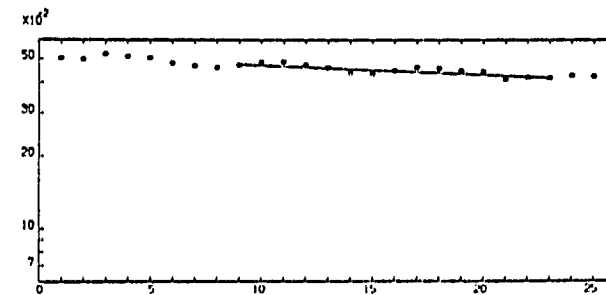
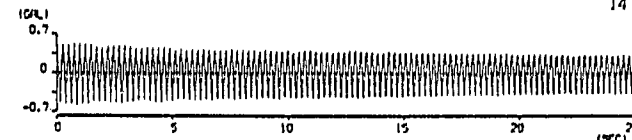
付図-2.15.2 自由減衰波形

NO. 103 ねじれ1次モード (2回目) 計測器番号 25

最大加速度 = 0.67 (GAL)

F = 4.125 HZ
T = 0.242 SEC

$$\delta = \frac{1}{14} \ln \frac{0.0070}{0.0062} = 0.0087$$



	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	0.504	0.0075
2	0.496	0.0074
3	0.529	0.0078
4	0.513	0.0076
5	0.506	0.0075
6	0.487	0.0072
7	0.469	0.0070
8	0.461	0.0069
9	0.473	0.0070
10	0.486	0.0072
11	0.487	0.0073
12	0.474	0.0071
13	0.451	0.0069
14	0.439	0.0065
15	0.435	0.0065
16	0.449	0.0067
17	0.461	0.0069
18	0.450	0.0068
19	0.448	0.0067
20	0.445	0.0066
21	0.412	0.0061
22	0.421	0.0063
23	0.419	0.0062
24	0.428	0.0064
25	0.426	0.0063

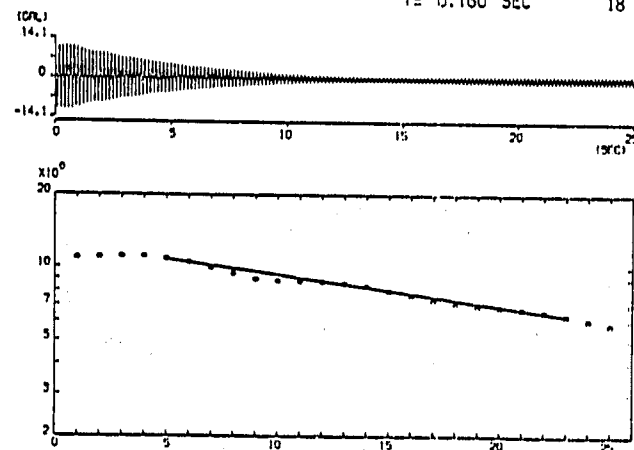
付図-2.15.4 自由減衰波形

NO. 4 ねじれ2次モード(1回目) 計測器番号 32

最大加速度=14.08 (GAL)

F= 6.250 HZ
T= 0.160 SEC

$$\delta = \frac{1}{18} \ln \frac{0.0708}{0.0411} = 0.0302$$



加速度 (gal)	変位 (mm)
1 10.073	0.0712
2 11.092	0.0717
3 11.129	0.0722
4 11.152	0.0723
5 10.917	0.0708
6 10.537	0.0683
7 9.957	0.0648
8 9.453	0.0613
9 8.995	0.0583
10 8.670	0.0573
11 8.405	0.0571
12 8.772	0.0569
13 8.604	0.0558
14 8.380	0.0543
15 7.899	0.0518
16 7.654	0.0498
17 7.297	0.0473
18 7.044	0.0459
19 6.917	0.0449
20 6.091	0.0445
21 6.738	0.0487
22 6.581	0.0477
23 6.336	0.0411
24 6.058	0.0393
25 5.810	0.0377

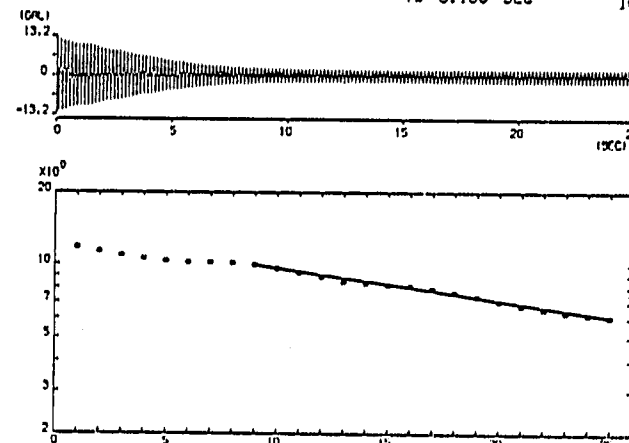
付図-2.16.1 自由減衰波形

NO. 24 ねじれ2次モード(1回目) 計測器番号 18

最大加速度=13.16 (GAL)

F= 6.234 HZ
T= 0.160 SEC

$$\delta = \frac{1}{16} \ln \frac{0.0650}{0.0395} = 0.0311$$



加速度 (gal)	変位 (mm)
1 11.789	0.0760
2 11.342	0.0739
3 10.839	0.0713
4 10.804	0.0691
5 10.325	0.0673
6 10.207	0.0665
7 10.702	0.0665
8 10.146	0.0661
9 9.078	0.0650
10 8.642	0.0628
11 9.274	0.0604
12 8.661	0.0577
13 8.458	0.0551
14 8.325	0.0543
15 8.274	0.0538
16 8.157	0.0532
17 7.945	0.0518
18 7.685	0.0500
19 7.384	0.0480
20 7.028	0.0459
21 6.760	0.0441
22 6.514	0.0425
23 6.302	0.0411
24 6.202	0.0404
25 6.007	0.0395

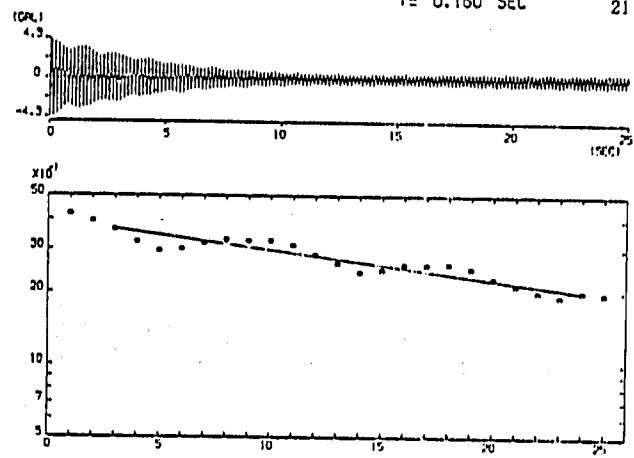
付図-2.16.3 自由減衰波形

NO. 13 ねじれ2次モード(1回目) 計測器番号 7

最大加速度=4.28 (GAL)

F= 6.234 HZ
T= 0.160 SEC

$$\delta = \frac{1}{21} \ln \frac{3.625}{2.006} = 0.0282$$



加速度 (gal)	変位 (mm)
1 4.200	0.0274
2 3.930	0.0256
3 3.626	0.0236
4 3.230	0.0210
5 2.963	0.0193
6 2.615	0.0186
7 3.105	0.0208
8 3.306	0.0215
9 3.204	0.0213
10 3.271	0.0213
11 3.129	0.0204
12 2.852	0.0186
13 2.623	0.0171
14 2.415	0.0157
15 2.404	0.0161
16 2.592	0.0169
17 2.585	0.0168
18 2.609	0.0170
19 2.502	0.0163
20 2.294	0.0149
21 2.178	0.0139
22 2.000	0.0130
23 1.920	0.0125
24 2.008	0.0131
25 1.988	0.0128

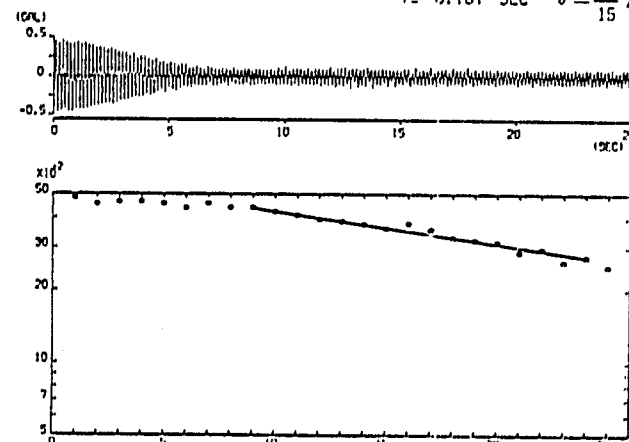
付図-2.16.2 自由減衰波形

NO. 35 ねじれ2次モード(1回目) 計測器番号 29

最大加速度=0.53 (GAL)

F= 6.219 HZ
T= 0.161 SEC

$$\delta = \frac{1}{15} \ln \frac{0.0029}{0.0018} = 0.0318$$



加速度 (gal)	変位 (mm)
1 0.462	0.0032
2 0.455	0.0030
3 0.464	0.0030
4 0.406	0.0031
5 0.457	0.0030
6 0.439	0.0029
7 0.458	0.0030
8 0.441	0.0029
9 0.441	0.0029
10 0.425	0.0028
11 0.410	0.0027
12 0.393	0.0026
13 0.389	0.0025
14 0.378	0.0025
15 0.362	0.0024
16 0.379	0.0025
17 0.358	0.0023
18 0.331	0.0022
19 0.323	0.0021
20 0.310	0.0021
21 0.287	0.0019
22 0.296	0.0019
23 0.283	0.0017
24 0.274	0.0018
25 0.250	0.0016

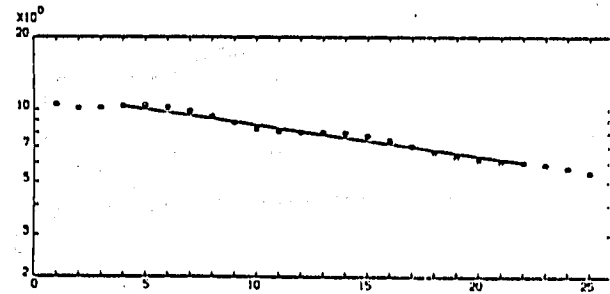
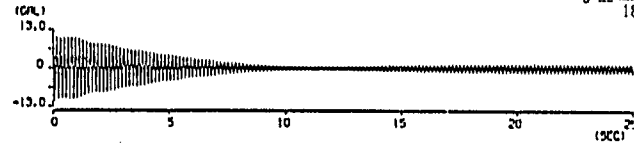
付図-2.16.4 自由減衰波形

NO. 40 おじれ2次モード(2回目) 計測器番号 32

最大加速度=12.98 (GAL)

F= 6.250 HZ
T= 0.160 SEC

$$\delta = \frac{1}{18} \ln \frac{0.0670}{0.0391} = 0.0299$$



	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	10.504	0.0661
2	10.124	0.0650
3	10.157	0.0650
4	10.536	0.0670
5	10.414	0.0675
6	10.213	0.0662
7	9.607	0.0640
8	9.364	0.0607
9	8.605	0.0571
10	8.347	0.0541
11	8.135	0.0527
12	8.079	0.0524
13	8.079	0.0524
14	8.029	0.0520
15	7.790	0.0506
16	7.475	0.0485
17	7.051	0.0457
18	6.680	0.0432
19	6.309	0.0413
20	6.202	0.0402
21	6.090	0.0395
22	6.034	0.0391
23	5.900	0.0383
24	5.710	0.0370
25	5.453	0.0354

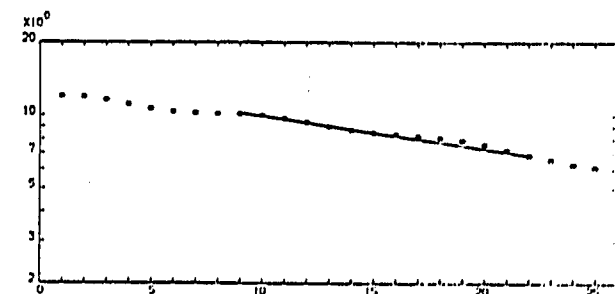
付図-2.17.1 自由減衰波形

NO. 60 おじれ2次モード(2回目) 計測器番号 18

最大加速度=12.87 (GAL)

F= 6.234 HZ
T= 0.160 SEC

$$\delta = \frac{1}{13} \ln \frac{0.0560}{0.0446} = 0.0301$$



	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	12.012	0.0793
2	11.945	0.0776
3	11.610	0.0757
4	11.129	0.0725
5	10.687	0.0696
6	10.509	0.0676
7	10.235	0.0667
8	10.157	0.0662
9	10.135	0.0660
10	10.001	0.0652
11	9.710	0.0633
12	9.386	0.0612
13	9.076	0.0597
14	8.716	0.0560
15	8.503	0.0554
16	8.367	0.0547
17	8.246	0.0537
18	8.101	0.0520
19	7.911	0.0516
20	7.679	0.0496
21	7.207	0.0470
22	6.950	0.0446
23	6.561	0.0425
24	6.191	0.0410
25	6.112	0.0399

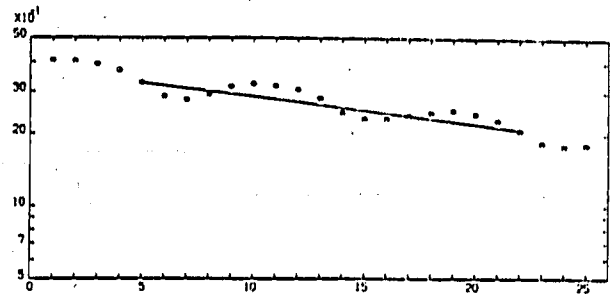
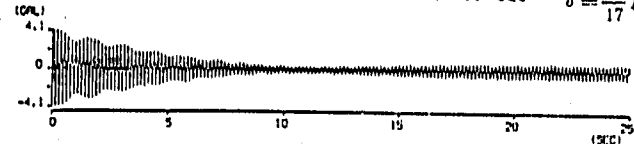
付図-2.17.3 自由減衰波形

NO. 49 おじれ2次モード(2回目) 計測器番号 7

最大加速度=4.08 (GAL)

F= 6.234 HZ
T= 0.160 SEC

$$\delta = \frac{1}{17} \ln \frac{3.278}{2.069} = 0.0271$$



	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	4.054	0.0264
2	4.030	0.0263
3	3.930	0.0255
4	3.687	0.0240
5	3.278	0.0214
6	2.973	0.0187
7	2.783	0.0181
8	2.928	0.0191
9	3.153	0.0206
10	3.240	0.0211
11	3.174	0.0207
12	3.093	0.0200
13	2.821	0.0184
14	2.457	0.0160
15	2.315	0.0151
16	2.318	0.0151
17	2.308	0.0156
18	2.453	0.0160
19	2.512	0.0164
20	2.426	0.0156
21	2.394	0.0144
22	2.069	0.0125
23	1.840	0.0120
24	1.788	0.0117
25	1.612	0.0118

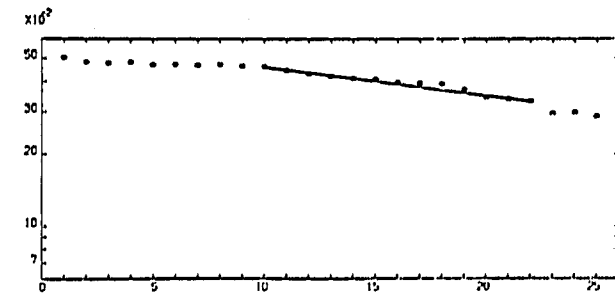
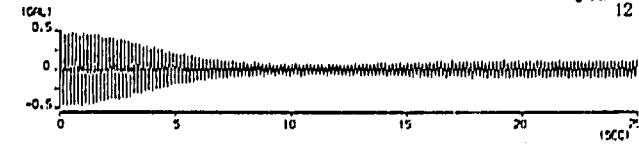
付図-2.17.2 自由減衰波形

NO. 71 おじれ2次モード(2回目) 計測器番号 29

最大加速度=0.52 (GAL)

F= 6.219 HZ
T= 0.161 SEC

$$\delta = \frac{1}{12} \ln \frac{0.0030}{0.0022} = 0.0258$$



	加速度 (gal)	変位 (mm)
1	0.504	0.0033
2	0.483	0.0032
3	0.478	0.0031
4	0.483	0.0032
5	0.470	0.0031
6	0.473	0.0031
7	0.469	0.0031
8	0.472	0.0031
9	0.465	0.0030
10	0.463	0.0030
11	0.446	0.0029
12	0.431	0.0028
13	0.421	0.0026
14	0.413	0.0027
15	0.410	0.0027
16	0.398	0.0026
17	0.394	0.0026
18	0.391	0.0026
19	0.372	0.0024
20	0.343	0.0022
21	0.340	0.0022
22	0.333	0.0022
23	0.296	0.0019
24	0.296	0.0020
25	0.267	0.0019

付図-2.17.4 自由減衰波形

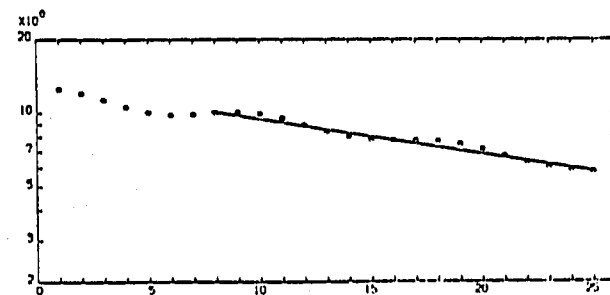
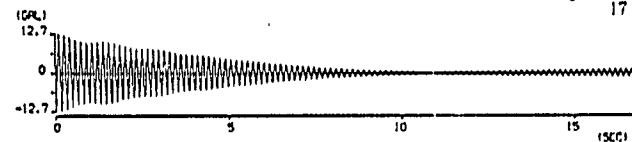
NO. 76 ねじれ2次モード (3回目) 計測器番号 32

最大加速度=12.68 (GAL)

F= 6.250 HZ

T= 0.160 SEC

$$\delta = \frac{1}{17} \ln \frac{0.0649}{0.0372} = 0.0327$$



加速度 (gal)	変位 (mm)
1 12.526	0.0912
2 12.048	0.0781
3 11.308	0.0733
4 10.548	0.0694
5 10.012	0.0649
6 9.777	0.0634
7 9.633	0.0626
8 10.001	0.0649
9 10.034	0.0651
10 9.889	0.0641
11 9.476	0.0614
12 9.217	0.0578
13 8.380	0.0543
14 7.989	0.0516
15 7.788	0.0495
16 7.732	0.0491
17 7.721	0.0501
18 7.654	0.0486
19 7.442	0.0467
20 7.107	0.0461
21 6.982	0.0433
22 6.872	0.0409
23 6.830	0.0399
24 5.833	0.0379
25 5.743	0.0372

付図-2.18.1 自由減衰波形

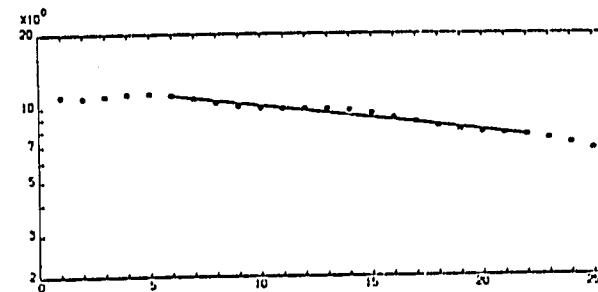
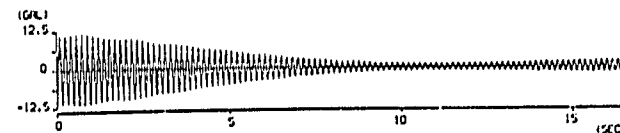
NO. 96 ねじれ2次モード (3回目) 計測器番号 18

最大加速度=12.51 (GAL)

F= 6.234 HZ

T= 0.160 SEC

$$\delta = \frac{1}{16} \ln \frac{0.0733}{0.0495} = 0.0245$$



加速度 (gal)	変位 (mm)
1 11.140	0.0726
2 11.018	0.0718
3 11.152	0.0727
4 11.409	0.0744
5 11.431	0.0745
6 11.252	0.0733
7 10.906	0.0711
8 10.470	0.0682
9 10.090	0.0658
10 9.934	0.0647
11 9.878	0.0644
12 9.867	0.0643
13 9.833	0.0641
14 9.710	0.0633
15 9.406	0.0613
16 9.017	0.0599
17 8.649	0.0564
18 8.291	0.0540
19 7.978	0.0520
20 7.811	0.0509
21 7.732	0.0504
22 7.598	0.0495
23 7.364	0.0480
24 7.051	0.0459
25 6.682	0.0435

付図-2.18.3 自由減衰波形

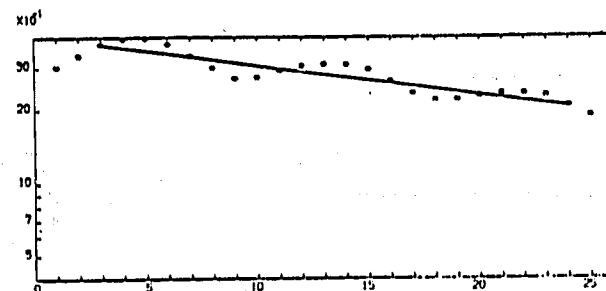
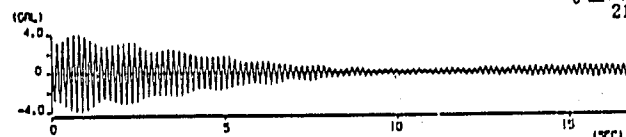
NO. 85 ねじれ2次モード (3回目) 計測器番号 7

最大加速度= 3.97 (GAL)

F= 6.234 HZ

T= 0.160 SEC

$$\delta = \frac{1}{21} \ln \frac{0.0244}{0.0135} = 0.0282$$



加速度 (gal)	変位 (mm)
1 3.625	0.0197
2 3.354	0.0219
3 3.739	0.0244
4 3.640	0.0257
5 3.804	0.0250
6 3.740	0.0244
7 3.334	0.0217
8 2.958	0.0195
9 2.993	0.0175
10 2.731	0.0178
11 2.911	0.0190
12 3.043	0.0199
13 3.091	0.0201
14 3.084	0.0201
15 2.946	0.0192
16 2.634	0.0172
17 2.343	0.0153
18 2.197	0.0143
19 2.204	0.0144
20 2.217	0.0146
21 2.336	0.0152
22 2.322	0.0151
23 2.290	0.0149
24 2.072	0.0135
25 1.875	0.0122

付図-2.18.2 自由減衰波形

NO. 107 ねじれ2次モード (3回目) 計測器番号 29

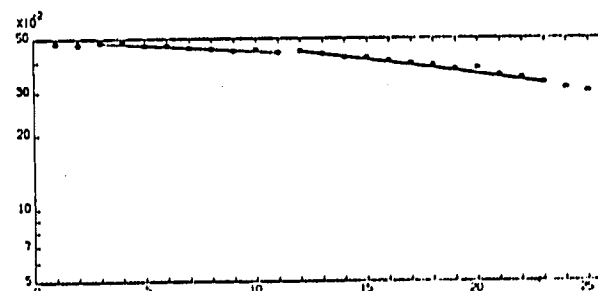
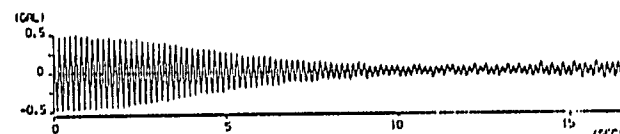
最大加速度= 0.50 (GAL)

F= 6.219 HZ

T= 0.161 SEC

$$\delta_1 = \frac{1}{8} \ln \frac{0.485}{0.439} = 0.0125$$

$$\delta_2 = \frac{1}{11} \ln \frac{0.0029}{0.0022} = 0.0251$$



加速度 (gal)	変位 (mm)
1 0.480	0.0031
2 0.475	0.0031
3 0.485	0.0032
4 0.487	0.0032
5 0.472	0.0031
6 0.472	0.0031
7 0.458	0.0030
8 0.455	0.0030
9 0.440	0.0029
10 0.451	0.0030
11 0.439	0.0029
12 0.444	0.0029
13 0.434	0.0028
14 0.419	0.0027
15 0.418	0.0027
16 0.404	0.0026
17 0.394	0.0026
18 0.388	0.0025
19 0.373	0.0024
20 0.377	0.0025
21 0.363	0.0023
22 0.345	0.0023
23 0.330	0.0022
24 0.315	0.0020
25 0.303	0.0020

付図-2.18.4 自由減衰波形

計測器番号 32

CHRX = 0.305E-03

FHAX = 0.195E+01

$$h_{11} = \frac{0.04}{2 \times 1.099} = 0.0182$$

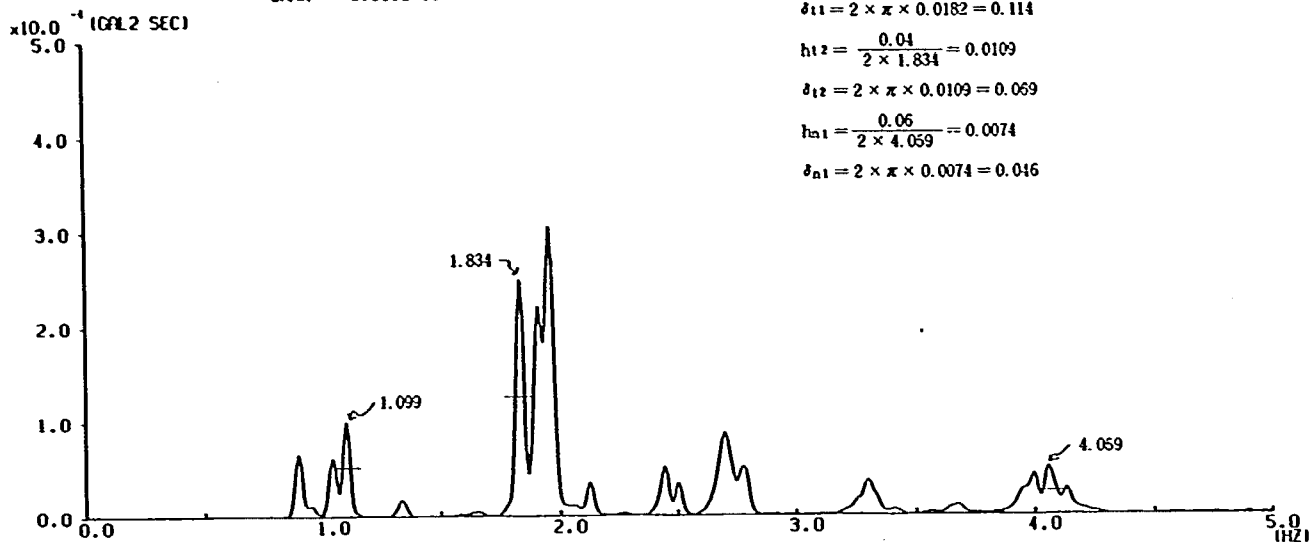
$$\delta_{11} = 2 \times \pi \times 0.0182 = 0.114$$

$$h_{12} = \frac{0.04}{2 \times 1.834} = 0.0109$$

$$\delta_{12} = 2 \times \pi \times 0.0109 = 0.069$$

$$h_{21} = \frac{0.06}{2 \times 4.059} = 0.0074$$

$$\delta_{21} = 2 \times \pi \times 0.0074 = 0.046$$



付図-3.1.1 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理10回)

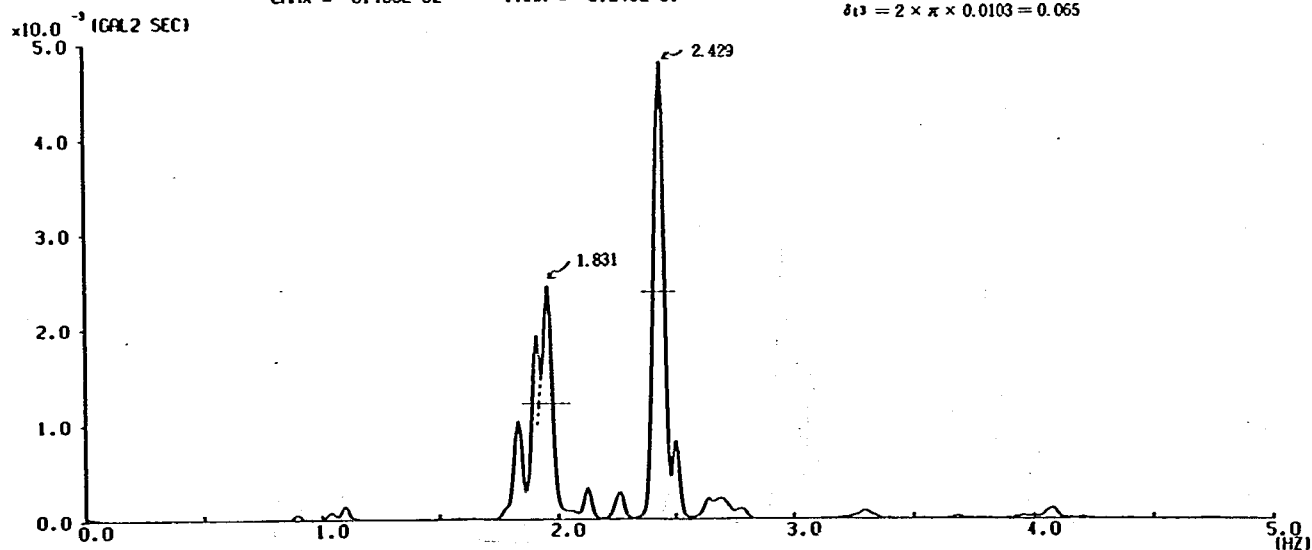
計測器番号 2

CHRX = 0.480E-02

FHAX = 0.243E+01

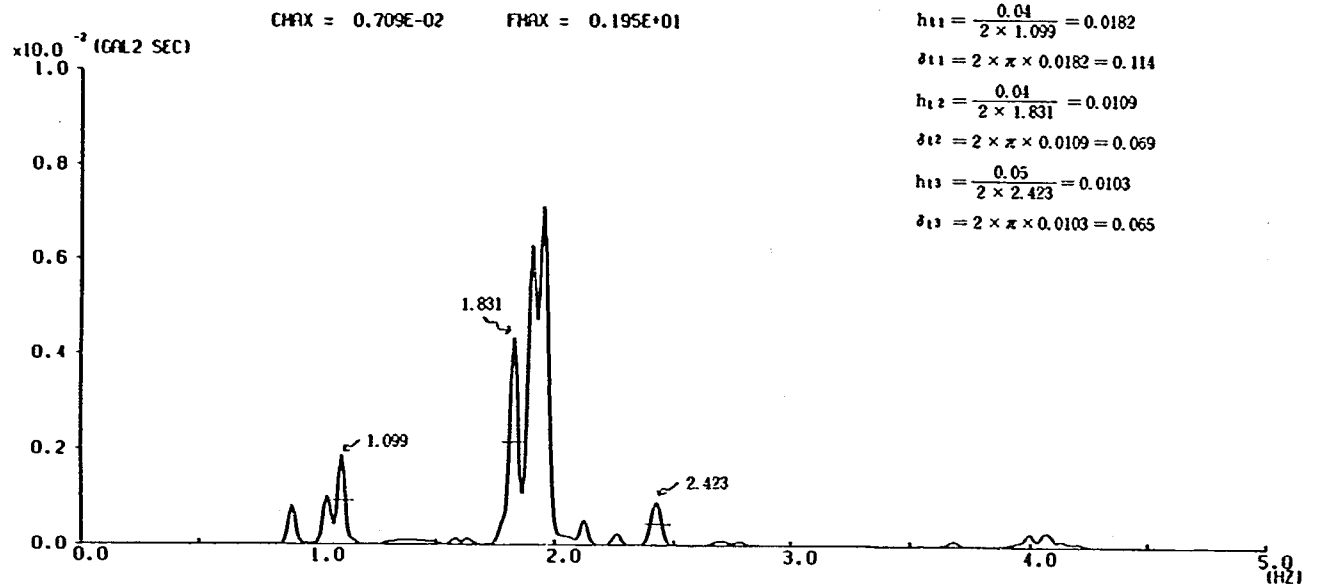
$$h_{13} = \frac{0.05}{2 \times 2.429} = 0.0103$$

$$\delta_{13} = 2 \times \pi \times 0.0103 = 0.065$$



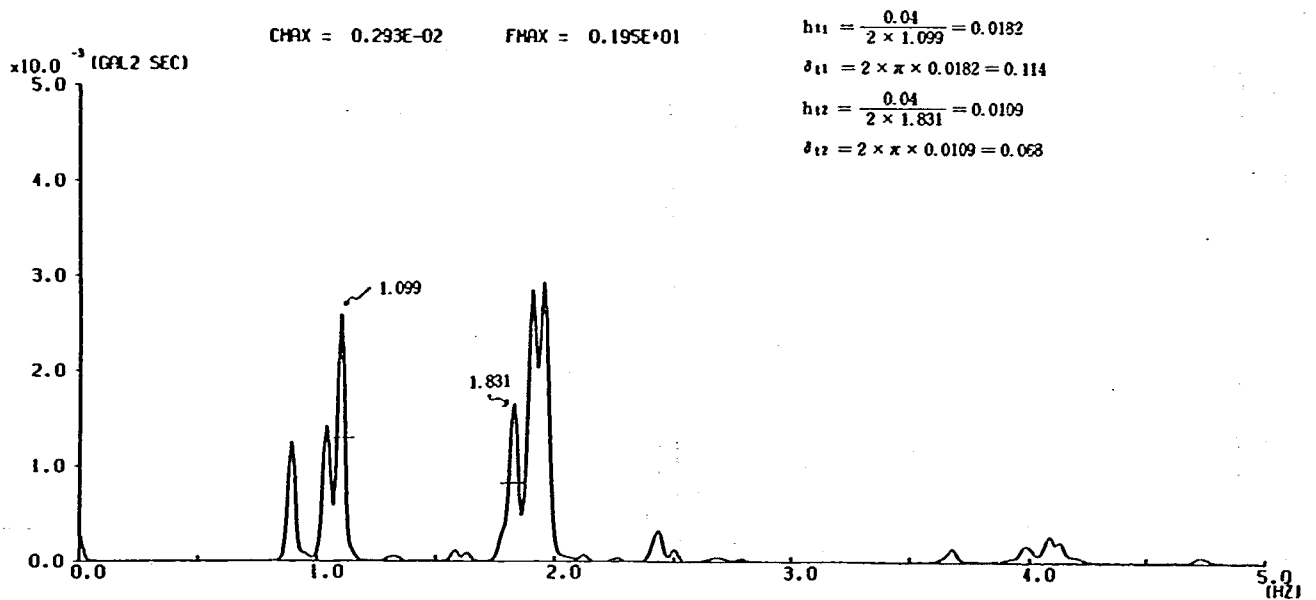
付図-3.1.2 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理10回)

計測器番号 6



付図-3.1.3 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理10回)

計測器番号 8



付図-3.1.4 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理10回)

計測器番号 10

CHRX = 0.221E-02

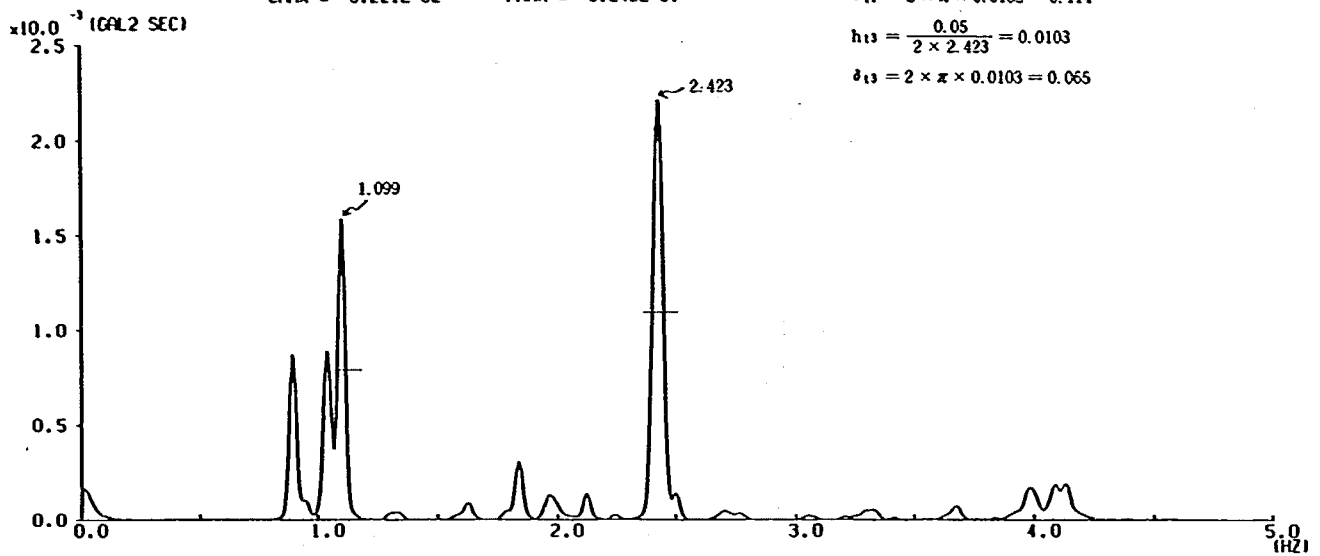
FHAX = 0.242E+01

$$h_{11} = \frac{0.04}{2 \times 1.099} = 0.0182$$

$$\delta_{11} = 2 \times \pi \times 0.0182 = 0.114$$

$$h_{13} = \frac{0.05}{2 \times 2.423} = 0.0103$$

$$\delta_{13} = 2 \times \pi \times 0.0103 = 0.065$$



付図-3.1.5 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理10回)

計測器番号 12

CHRX = 0.771E-03

FHAX = 0.195E+01

$$h_{11} = \frac{0.04}{2 \times 1.099} = 0.0182$$

$$\delta_{11} = 2 \times \pi \times 0.0182 = 0.114$$

$$h_{12} = \frac{0.04}{2 \times 1.831} = 0.0109$$

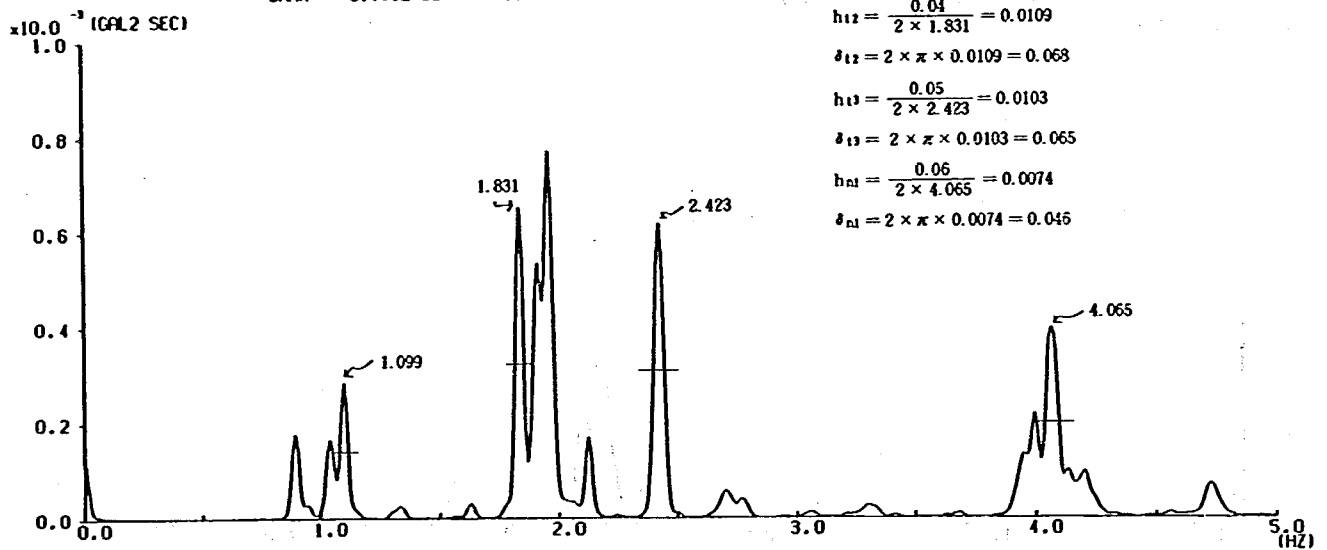
$$\delta_{12} = 2 \times \pi \times 0.0109 = 0.068$$

$$h_{13} = \frac{0.05}{2 \times 2.423} = 0.0103$$

$$\delta_{13} = 2 \times \pi \times 0.0103 = 0.065$$

$$h_{14} = \frac{0.06}{2 \times 4.065} = 0.0074$$

$$\delta_{14} = 2 \times \pi \times 0.0074 = 0.046$$



付図-3.1.6 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理10回)

計測器番号 16

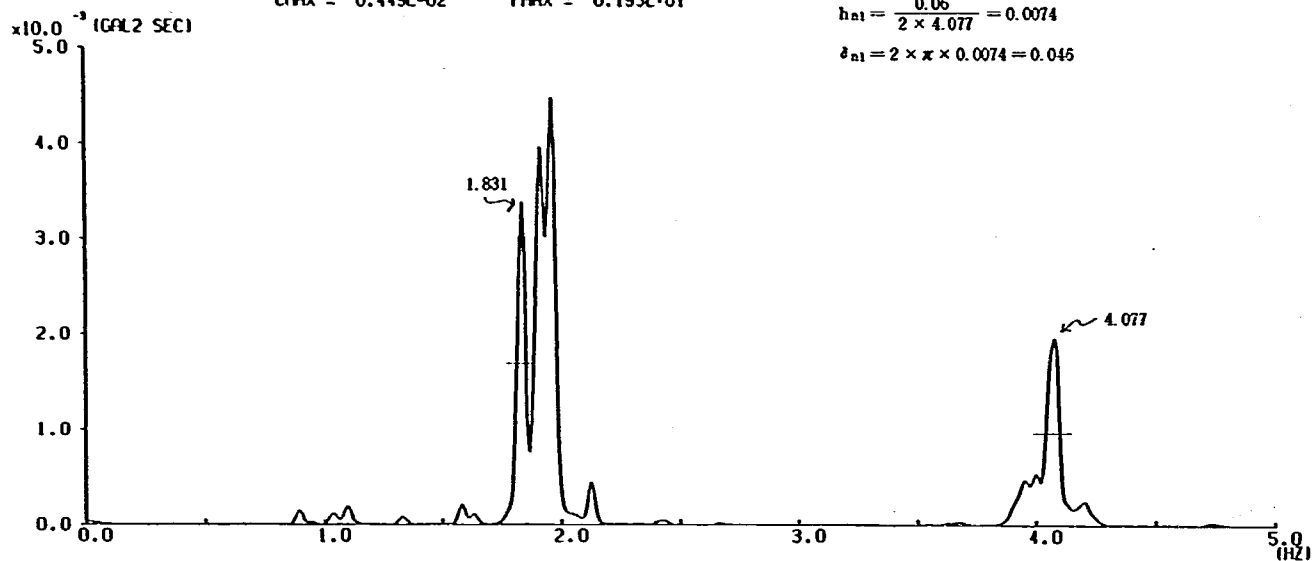
CHAX = 0.449E-02 FMAX = 0.195E+01

$$h_{12} = \frac{0.04}{2 \times 1.831} = 0.0109$$

$$\delta_{12} = 2 \times \pi \times 0.0109 = 0.068$$

$$h_{21} = \frac{0.06}{2 \times 4.077} = 0.0074$$

$$\delta_{21} = 2 \times \pi \times 0.0074 = 0.046$$



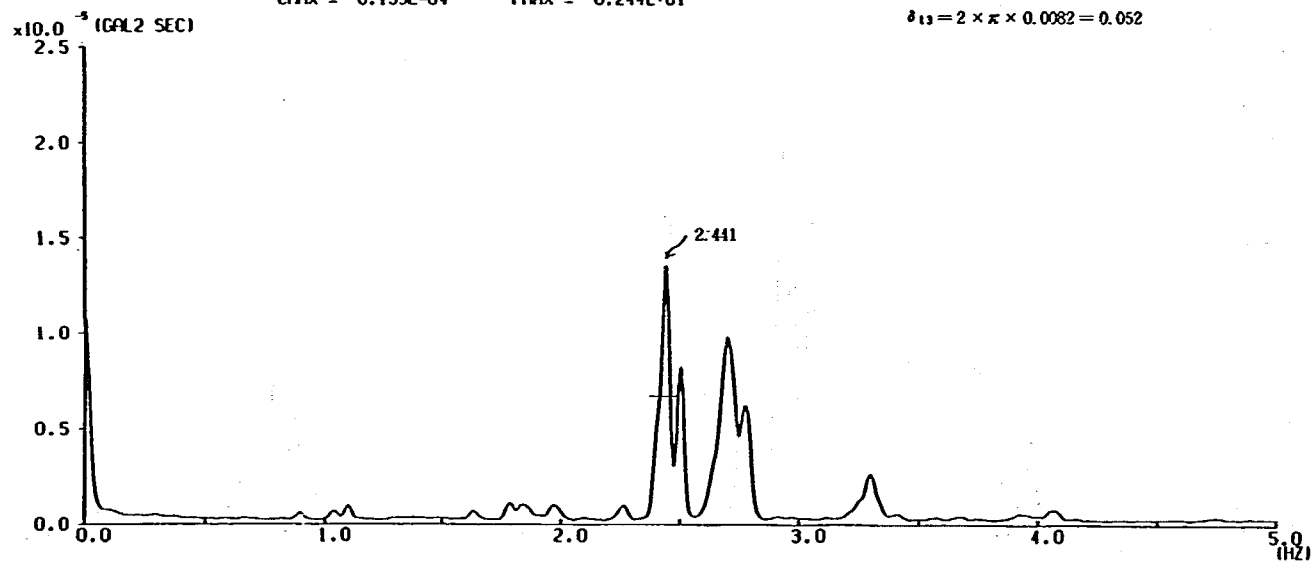
付図-3.1.7 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理10回)

計測器番号 21

CHAX = 0.135E-04 FMAX = 0.244E+01

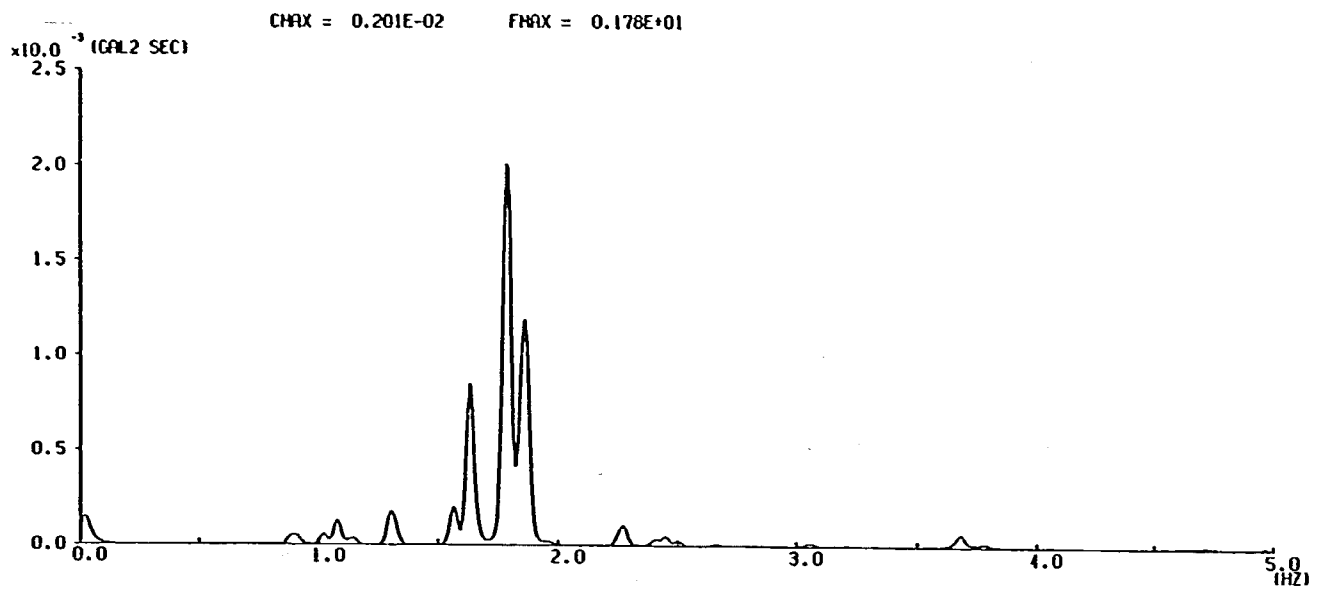
$$h_{13} = \frac{0.04}{2 \times 2.441} = 0.0082$$

$$\delta_{13} = 2 \times \pi \times 0.0082 = 0.052$$



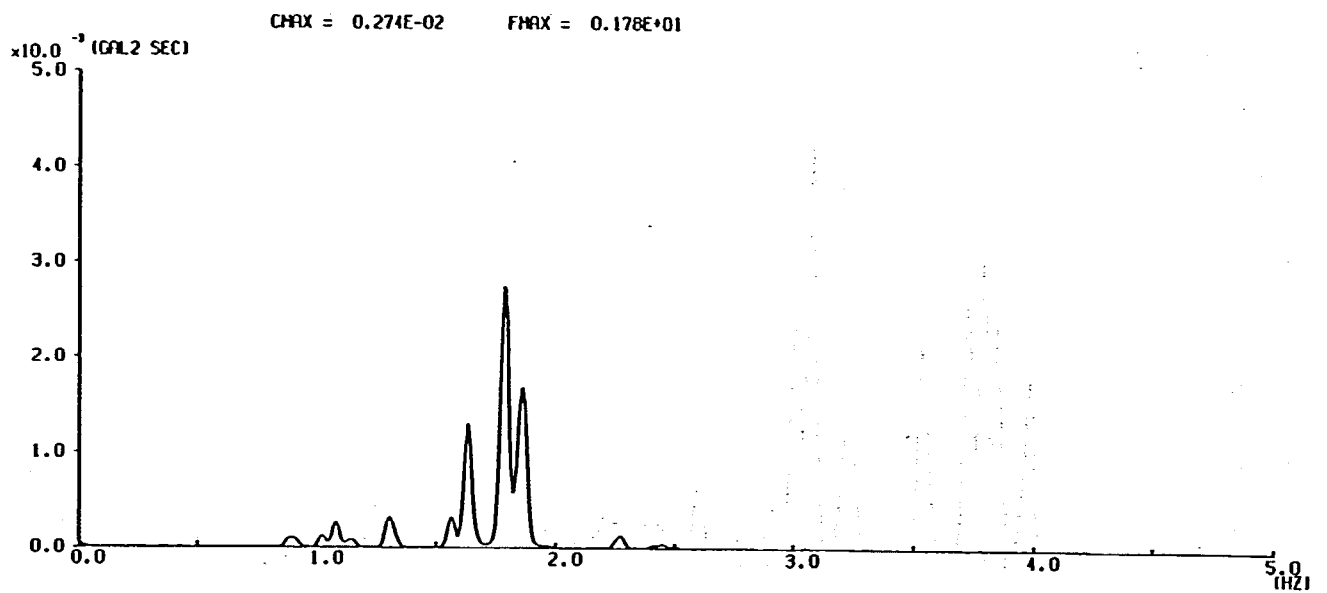
付図-3.1.8 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理10回)

計測器番号 23



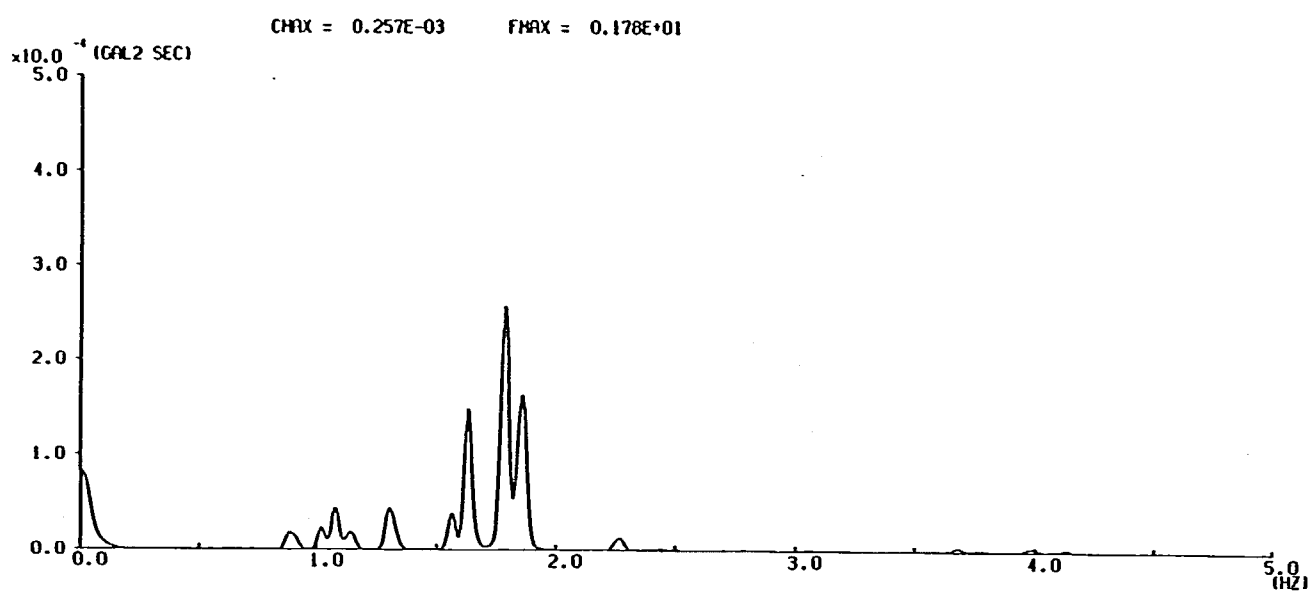
付図-3.1.9 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理10回)

計測器番号 24



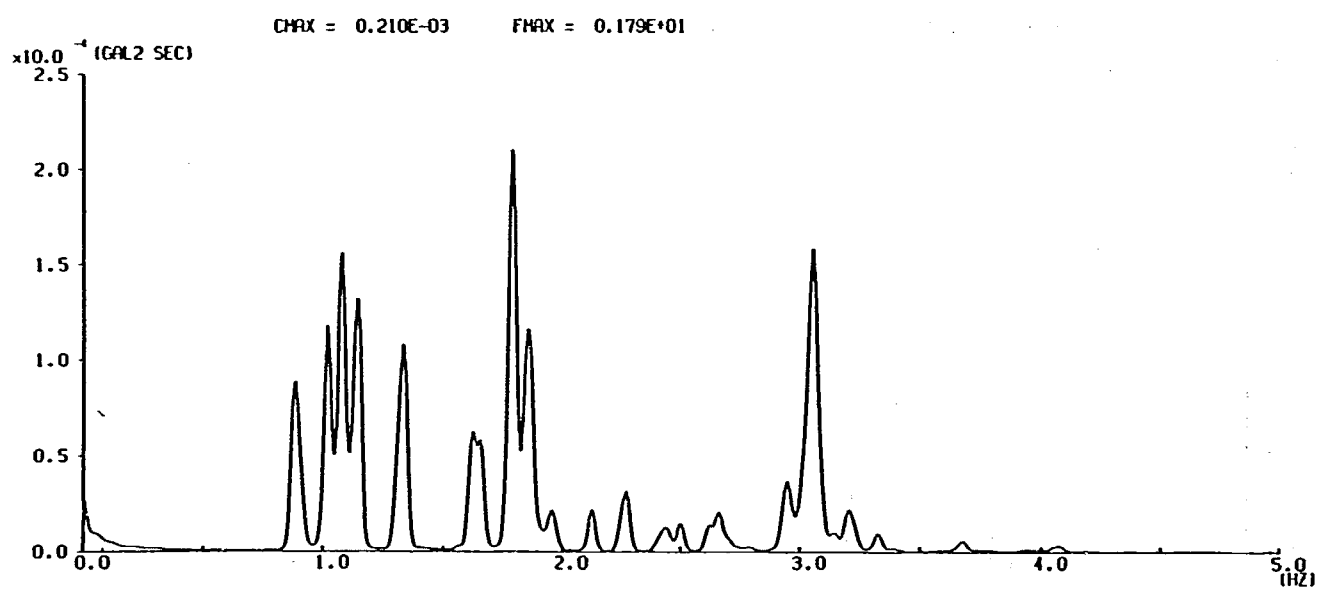
付図-3.1.10 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理10回)

計測器番号 25



付図-3.1.11 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理10回)

計測器番号 28



付図-3.1.12 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理10回)

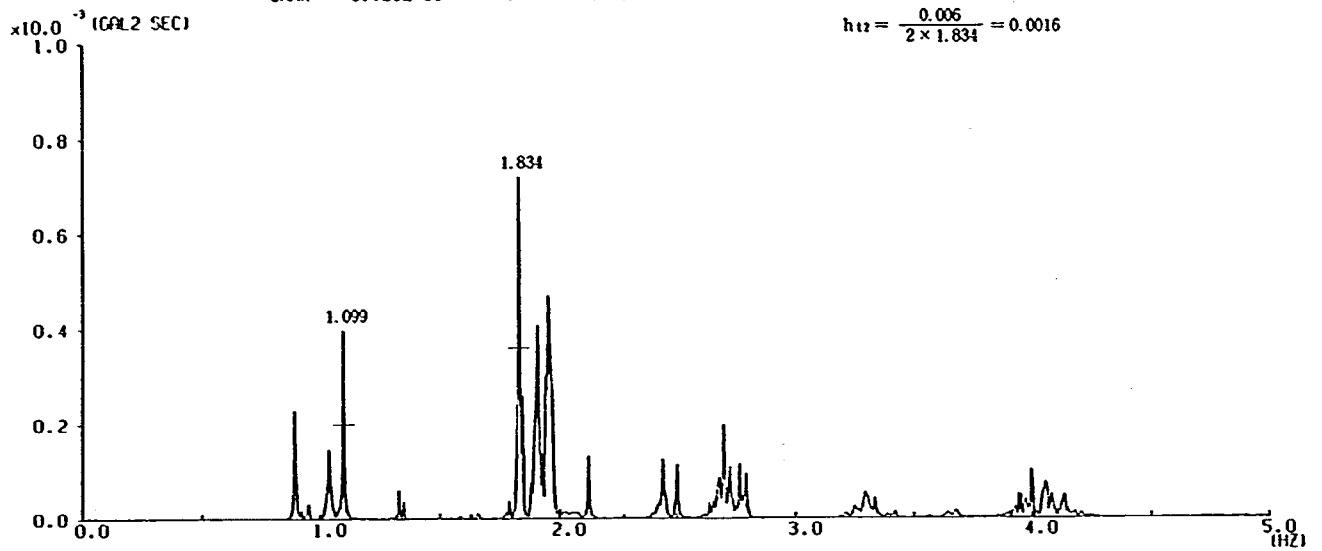
計測器番号 32

CHMAX = 0.720E-03

FMAX = 0.183E+01

$$h_{11} = \frac{0.006}{2 \times 1.099} = 0.0027$$

$$h_{12} = \frac{0.006}{2 \times 1.834} = 0.0016$$



付図-3.2.1 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理なし)

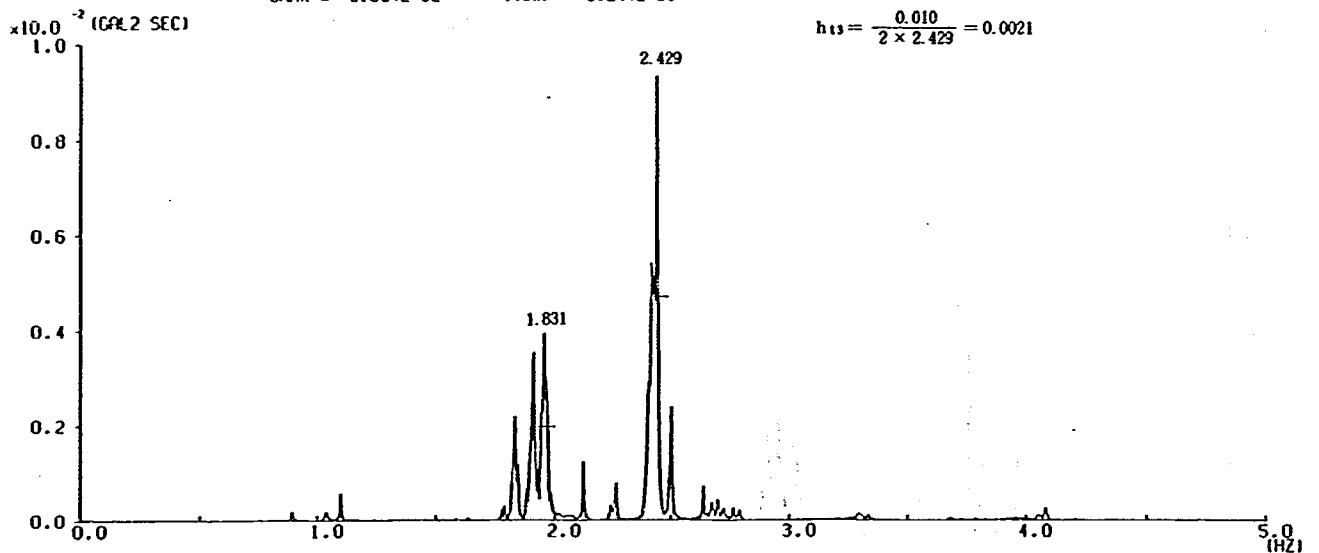
計測器番号 2

CHMAX = 0.934E-02

FMAX = 0.244E+01

$$h_{12} = \frac{0.026}{2 \times 1.831} = 0.0071$$

$$h_{13} = \frac{0.010}{2 \times 2.429} = 0.0021$$



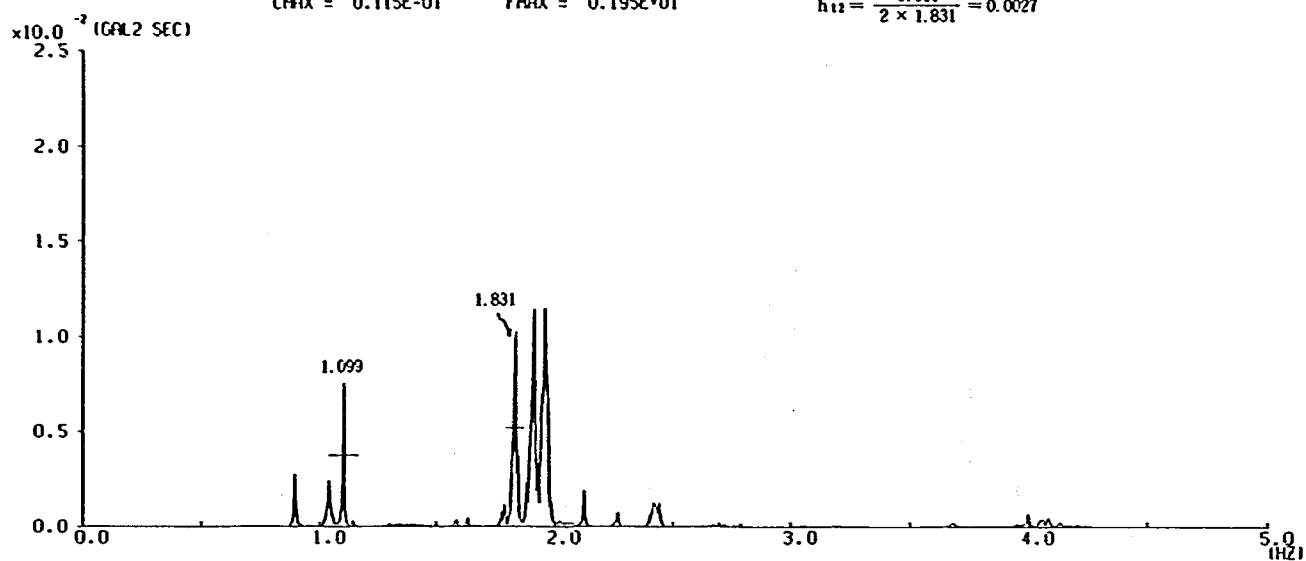
付図-3.2.2 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理なし)

計測器番号 6

$$h_{11} = \frac{0.006}{2 \times 1.099} = 0.0027$$

CHAX = 0.115E-01 FMAX = 0.195E+01

$$h_{12} = \frac{0.010}{2 \times 1.831} = 0.0027$$



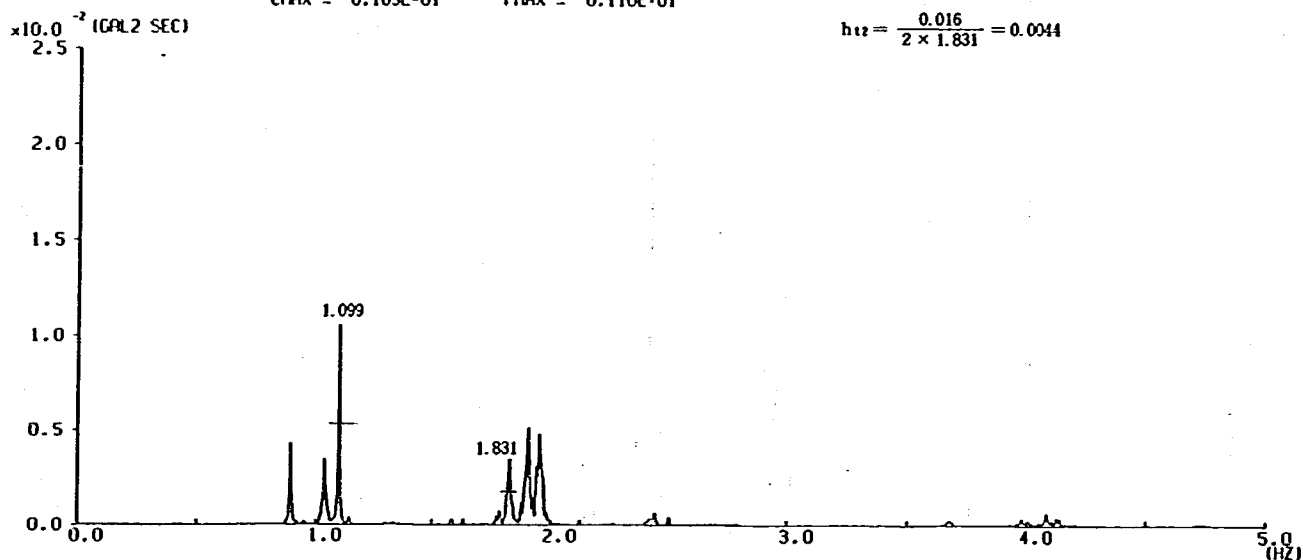
付図-3.2.3 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理なし)

計測器番号 8

$$h_{11} = \frac{0.006}{2 \times 1.099} = 0.0027$$

CHAX = 0.105E-01 FMAX = 0.110E+01

$$h_{12} = \frac{0.016}{2 \times 1.831} = 0.0044$$



付図-3.2.4 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理なし)

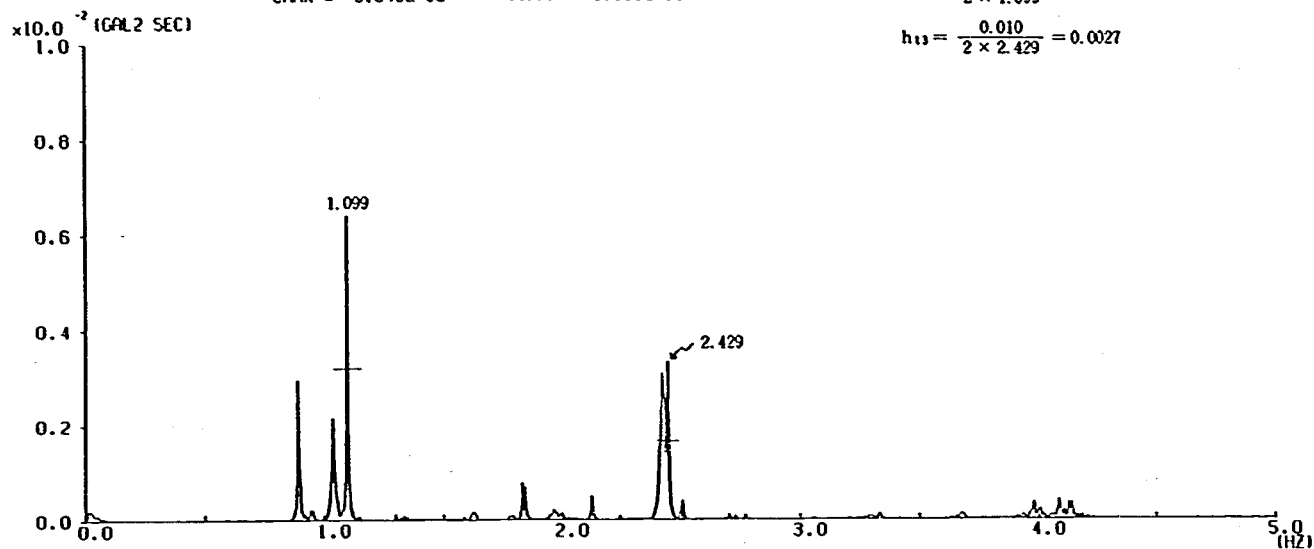
計測器番号 10

C MAX = 0.640E-02

F MAX = 0.110E+01

$$h_{11} = \frac{0.006}{2 \times 1.099} = 0.0027$$

$$h_{13} = \frac{0.010}{2 \times 2.429} = 0.0027$$



付図-3.2.5 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理なし)

計測器番号 12

C MAX = 0.172E-02

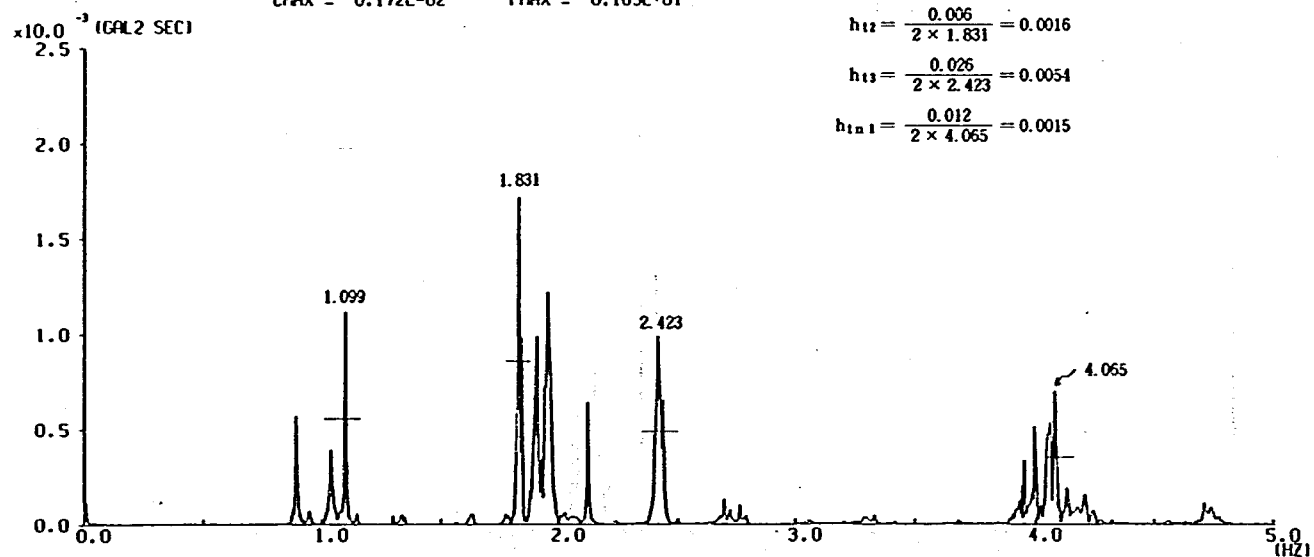
F MAX = 0.183E+01

$$h_{11} = \frac{0.006}{2 \times 1.099} = 0.0027$$

$$h_{12} = \frac{0.006}{2 \times 1.831} = 0.0016$$

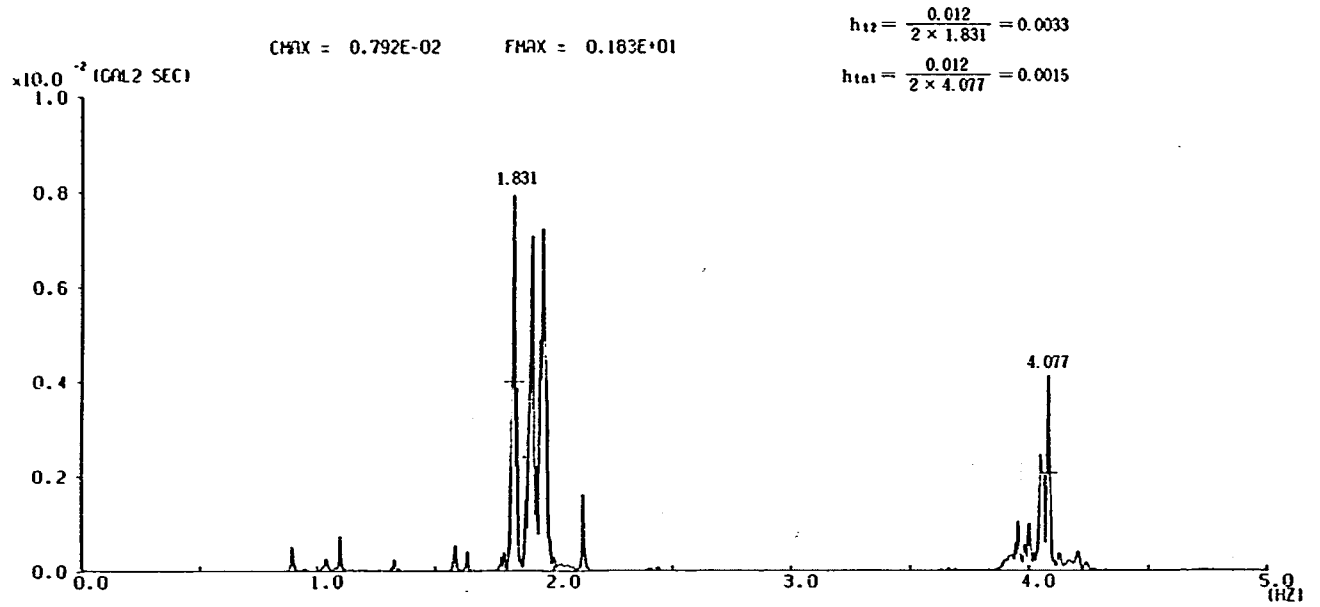
$$h_{13} = \frac{0.026}{2 \times 2.423} = 0.0054$$

$$h_{121} = \frac{0.012}{2 \times 4.065} = 0.0015$$



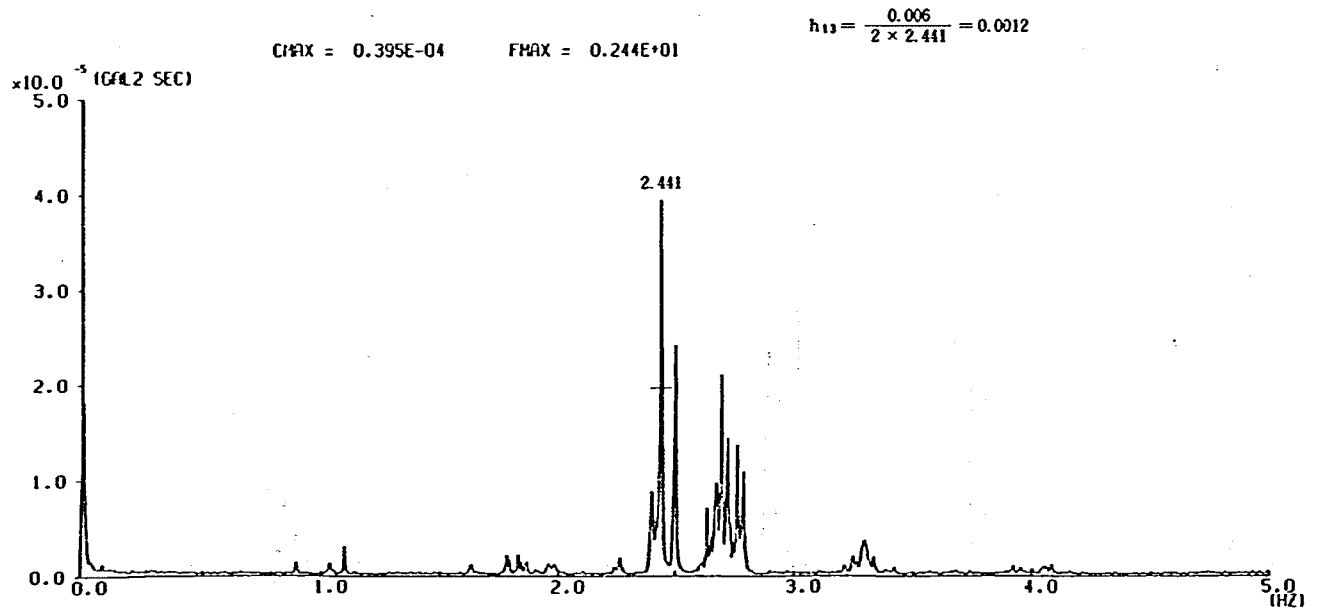
付図-3.2.6 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理なし)

計測器番号 16



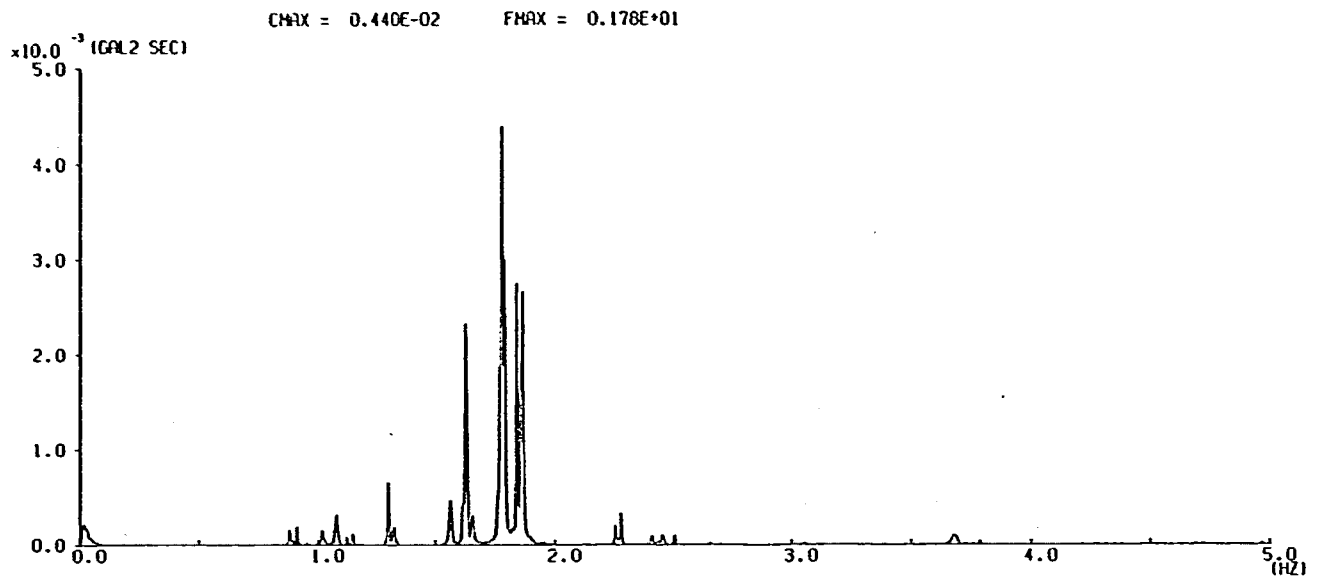
付図-3.2.7 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理なし)

計測器番号 21



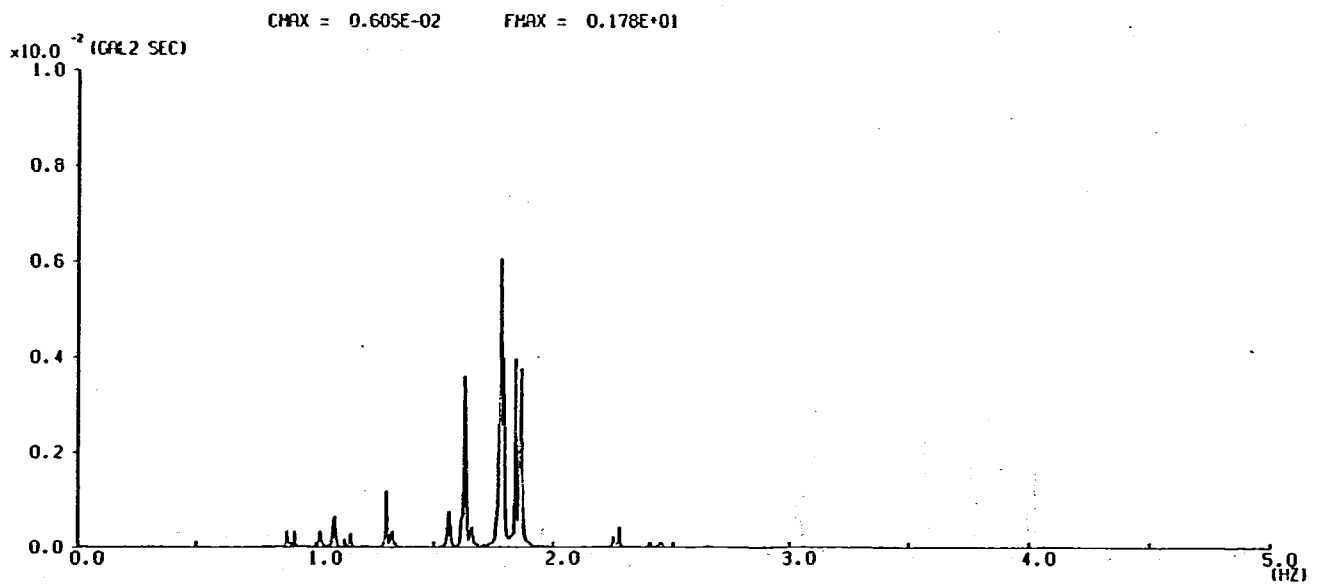
付図-3.2.8 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理なし)

計測器番号 23



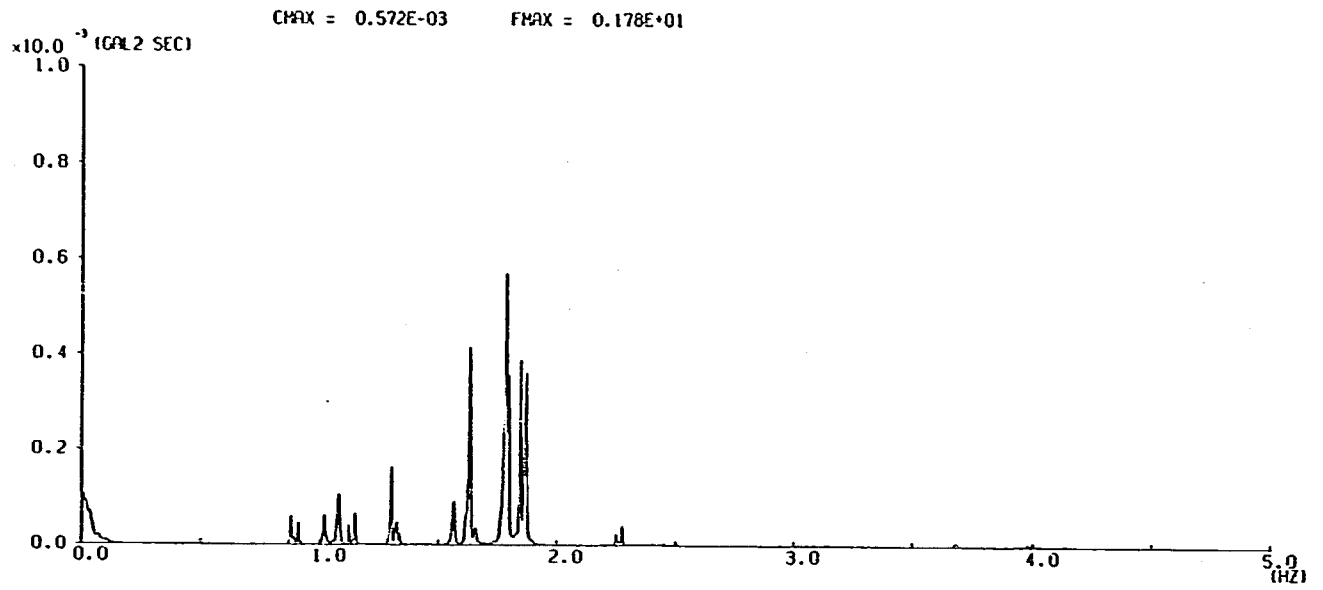
付図-3.2.9 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理なし)

計測器番号 24



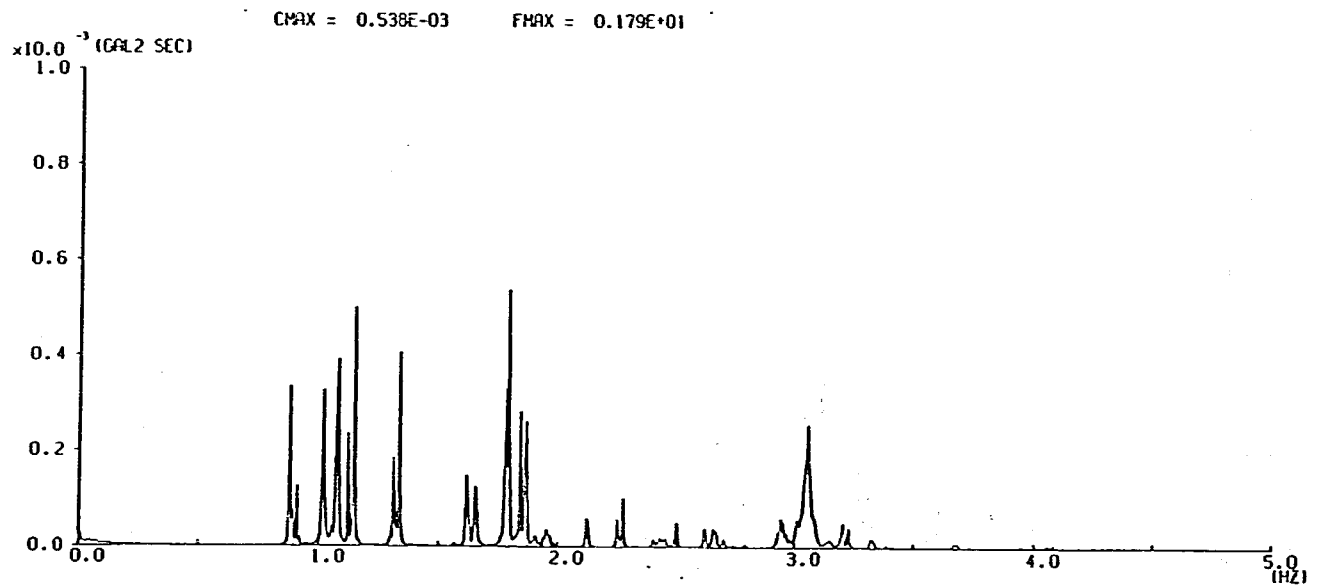
付図-3.2.10 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理なし)

計測器番号 25



付図-3.2.11 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理なし)

計測器番号 28



付図-3.2.12 常時微動のパワースペクトル (ウィンドー処理なし)

横山 功一, 佐藤 弘史
永原 隆, 東久保正徳

要 旨 P C斜張橋の構造特性の調査を目的として, 一般国道173号新綾部大橋 (3径間連続P C斜張橋, 51.5m + 110.0m + 77.5m) において起振機実験ならびに常時微動の計測を行なった。その結果より固有振動数, 固有振動モード, 構造減衰を求めた。また起振機加振時にはケーブルの振動が観測された。

キーワード: P C斜張橋, 起振機振動実験, 構造減衰, 新綾部大橋

郵便はがき

郵便切手を
はって下さ

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
構造研究室 御中

No. 03

No. 03

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2671号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印