

本州・四国基礎工
調査資料 No. 14

土木研究所資料

第 179 号

木曾川橋橋脚振動実験

七九号

昭和41年4月

建設省 土木研究所

建設省土木研究所

目 次

1. まえがき	1
2. 実験の概要	2
2-1. 実験場所	2
2-2. 木曾川橋の概要	3
2-3. 地盤構成	4
2-4. プレシオメータ試験	6
2-5. 試験橋脚	8
2-6. 実験方法概要	8
2-7. 測定点と測定計器	8
2-8. 実験一覧表	11
3. 静土圧	12
4. 強制振動実験	13
4-1. 加振方法	13
4-2. 共振曲線	18
4-3. 最大変位、土圧、水圧及びK値	18
4-4. 振動モードと動土圧分布	19
5. 自由振動実験	19
5-1. 加振方法	19
5-2. 切断時の橋脚作用荷重と初期変位	23
5-3. 共振振動数と減衰定数	24
5-4. 振動モードと動土圧分布	25
6. 実験結果の考察	25
7. あとがき	28

1 ま え が き

この報告書は昭和40年度に、基礎構造物の耐震性に関する試験調査の一つとして、土木研究所が日本道路公団名四道路工事事務所と共同して実施した木曾川橋脚振動実験の結果をまとめたものである。

従来より、基礎構造物に作用する水平力の取り扱いが問題となつてゐるが、実験は横方向に振動荷重を受ける橋脚（橋脚躯体と井筒）の挙動を明らかにし、解析に必要な基礎的資料を得るために実施したものであつて、実験に際して目的とした項目は次のようなものである。

- 1) 基礎構造物（橋脚躯体と井筒）の固有振動数及び減衰定数の測定。
- 2) 基礎構造物（橋脚躯体と井筒）の振動モード、井筒に作用する動土圧の分布及び変動する水圧の分布。
- 3) 地盤のパネ定数、すなわち地盤を一樣と見なした場合の動的地盤反力係数（K値）。
- 4) 地盤を通して伝播した振動荷重の影響。
- 5) 横方向に作用させた振動荷重の違いによる上記の各項目への影響。

横方向に加える振動荷重は二種類で、すなわち強制振動実験と自由振動実験を実施し、比較を行つてみた。

橋脚の振動実験は過去にもかなり行われているが、この実験は特に振動時における構造物と基礎地盤との関係を実験的に把握することに重点を置き、今後、実施する室内実験を総合して、本四連絡架橋の耐震設計に関する参考資料を得ることを目的とした。

尚、この報告書は実験結果についてのみまとめたものであつて、橋脚の振動性状に関する理論については触れていない。従つて、理論による計算結果については、後刻報告するつもりであるので、お許し願いたい。

昭和41年 4月

土木研究所 基礎研究室

2 実験の概要

2-1. 実験場所

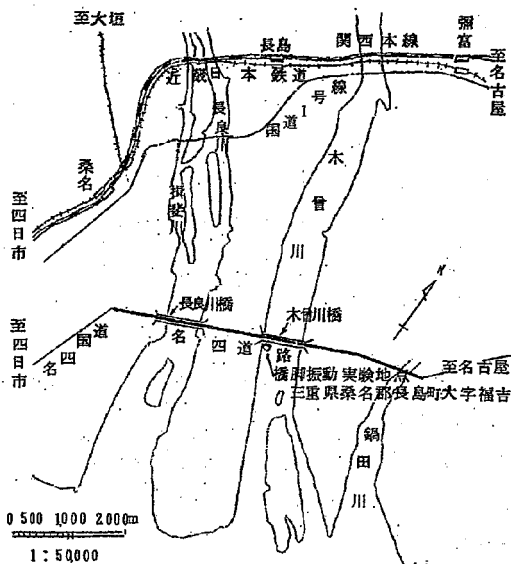


図-1 実験地点平面図

実験場所は日本道路公団名四道路工事事務所が現在施工中の木曾川橋である(図-1参照)。

名四道路は名古屋と四日市を通っている国道1号線のバイパスとして建設された名四国道の一部(木曾川、長良川橋梁区間のみ)として、昭和38年2月に完成された。その後、交通量の増加に伴い、上下車線を分離するため、現在橋の車道2車線に平行して、下流側に更に2車線を建設中である。

この実験は木曾川橋梁において、現在、追加建設中の下流側橋梁、P11 橋脚で実施したものである(三重県桑名郡長島町大字福吉木曾川橋梁 P11 橋脚、写真1参照)。

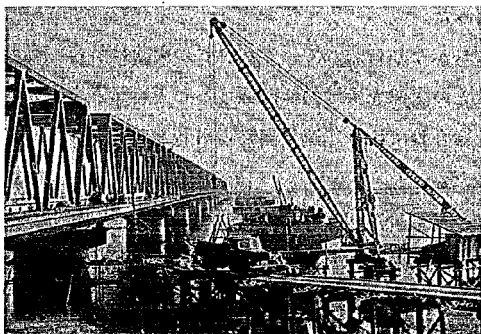


写真1 木曾川橋梁橋現場

2-2 木曾川橋の概要

現在建設中の木曾川橋は現在橋と全く同一の断面寸法を有し、概略の諸元は次の通りである（図-2参照）。

管 轄 日本道路公団 名四道路工事事務所

路線名 1級国道1号線

道路名 名四道路

位 置 自 三重県桑名郡木曾岬村大字松永
至 三重県桑名郡長島町大字福吉

橋 格 1等橋

型 式 平行弦単純ワーレントラス橋

橋 長 全長858.46m ($12 \times 70.63 + 11 \times 0.9 + 2 \times 0.5$)

幅 員 車道 7.5m

歩道 2.5m

橋 脚 橋体 鉄骨コンクリート造

基礎 鉄筋コンクリート造井筒

工 期 昭和39年9月30日～昭和42年3月31日

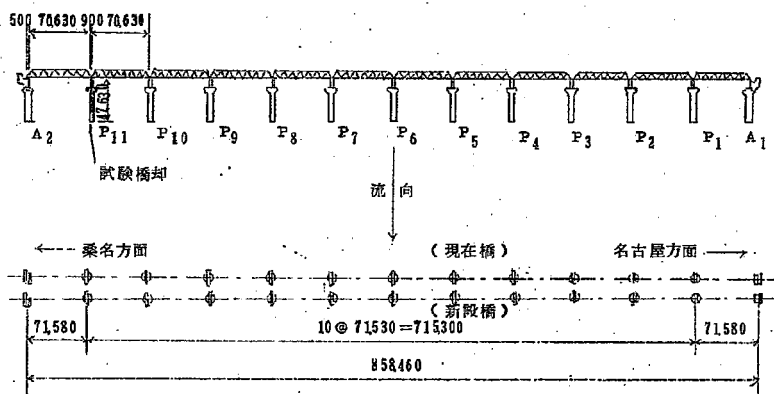


図-2 木曾川橋一般図

試験対象に選んだ P_{11} 橋脚の一般図を図-3に、現在橋と合わせて示しておく。形状寸法は下記の通り。

井筒の形状	円形中空断面
井筒の寸法	長さ 41.5 m
直径	6.0 m
壁厚	0.7 m

2-3 地盤構成

本橋架橋地点は木曾川河口部のデルタ地帯に位置し、非常な軟弱地盤を示している。ボーリングは各橋脚並びに橋台の地点で行い、地盤柱状図の結果を図-4に示す。

概略の地盤構成は上層約10mはN値が10前後の細砂層、その下約30mがシルト層でN値は0、その下がN値50以上の砂礫層となっていて、この砂礫層に基礎は支持されている。

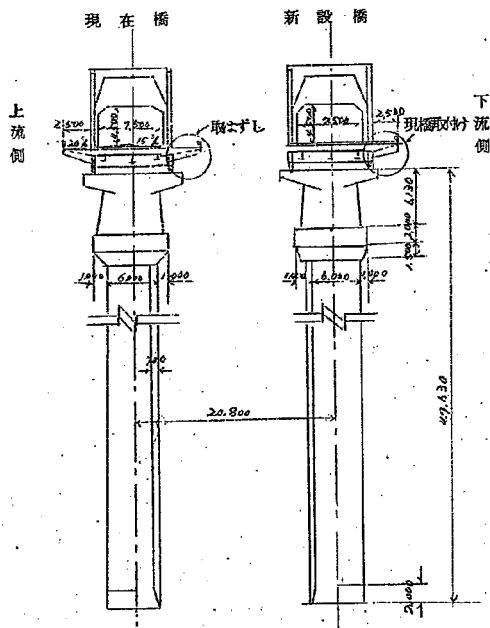


図-3 橋脚断面図

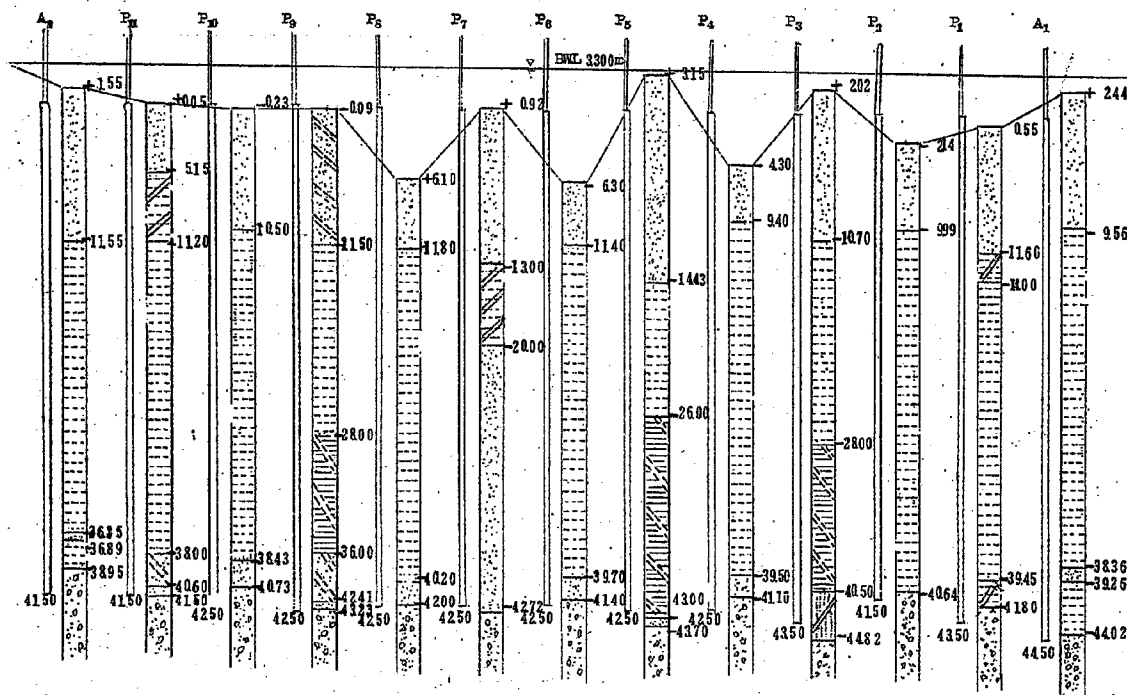


図-4 地盤柱状図

凡		砂		砂とシルト		シルトと砂
例		シルト		シルトと砂		砂とシルト

2-4 プレシオメータ試験

振動実験を行う P_1 橋脚地点における地盤の深さ方向の変化を調べるために、ボアリング孔内で、プレシオメータ測定管による横方向地盤反力係数及び変形係数を求める試験を実施した。試験は43 mの深さまで7回、実施した。測定結果を表-4及び図-5に示す。地盤反力係数 K 値は変形係数より直径6 mの井筒に換算したものである。

砂を含む層の値はシルト層の値より大きいのは当然であるが、プレシオメータ試験の結果より K 値は大略 $0.1 \sim 0.6 \text{ Kg/cm}^2$ と考えられる。

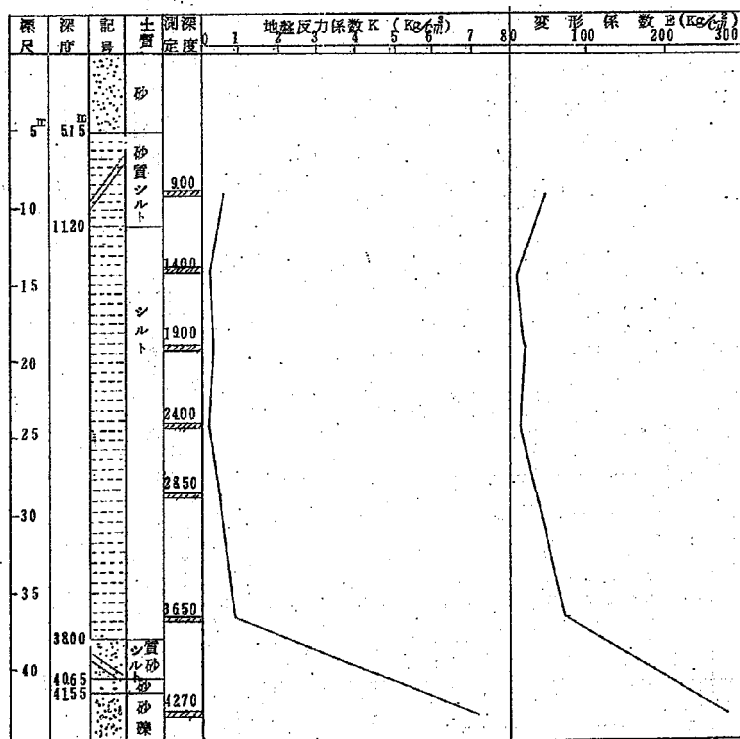


図-5 プレシオメータ試験結果

測定深度 (m)	土 質 名	初期圧力 P_0 (Kg/cm ²)	限界圧力 P_f (Kg/cm ²)	極限圧力 P_e (Kg/cm ²)	変形係数 E (Kg/cm ²)	地盤反力係数 K (Kg/cm ²)
9.00	砂	0.40	3.11	6.11	44.40	0.55
14.00	シルト	0.63	1.45	2.50	9.33	0.12
19.00	シルト	0.67	2.35	3.33	20.30	0.25
24.00	シルト	0.43	2.49	3.94	11.70	0.15
28.50	シルト	0.72	2.87	4.67	33.00	0.41
36.50	シルト	1.26	3.19	6.26	69.50	0.86
42.70	砂 礫	7.11	16.61	—	279.00	7.15

表-1 プレジオメータ測定結果

2-5 試験橋脚

架設作業の工程、試験時期、実験準備の容易さ、測定の都合等の種々の条件を考慮に入れて、右岸側橋脚 P_{11} を実験対象の橋脚に選んだ。強制振動実験と自由振動実験との振動方向を一致させるために、橋軸直角方向に加振した。従つて P_{11} 橋脚と同一位置にある現在橋も実験対象橋脚とし、地盤を通して伝わつた振動荷重による影響も調べた。

実験は橋脚が完成後、上部工を架設するまでの期間に行ふこととし、橋脚躯体コンクリート打設後、約2週間コンクリートを養生して、実施した。

実験時には橋脚の周囲に、直径8m、高さ2.5m、壁厚2.5cmの止水壁が橋脚井筒の上に取り付けていた。水位は、実験を実施した時間によつて異なるが、大略 $M.S.L. - 0.4m \sim -1.2m$ を変動していた。

2-6 実験方法概要

次の二種類の方法で横方向の振動荷重を橋脚に作用させて実験を行つた。

1) 強制振動実験

橋脚天端に大型起振機(最大起振力40t、最大振動数5.0%)を44本のアンカーボルトにて固定し、橋軸直角方向に振動を生ぜしめ、埋設土圧計、水圧計及び取付加速度計にて、土圧、水圧、変位を測定した。

2) 自由振動実験

上流側橋脚(現在橋)と下流側橋脚(新設橋、強制振動実験を行つた橋脚、図-3参照)との間に $\phi 26mm \times 12m$ のワイヤロープを張り、ロープの中間に設けてある切断用金属片を利用して、引張荷重50tおよび100tで切断し自由振動を発生させた。切断用金属片は金属片に切欠を入れ、50t及び100tにて自動的に切断されるように、あらかじめ室内実験で、金属片の断面を決定したものである。

2-7 測定点と測定計器

測定には、振動性状、土圧分布、水圧分布等を明かにするために、 P_{11} 橋脚に加速度計9個($A-1 \sim A-9$)、土圧計8個($B-1 \sim B-8$)、水圧計5個($H-1 \sim H-5$)を、 P_{11} 橋脚と相対する位置にある現在橋に加速度計2個($A-10$ 、 $A-11$)を配置した。土圧計、水圧計は工事施工中に日本道路公団が施工管理をする目的で、橋脚に取付け、所定の位置に埋設したものである。

従つて、日本道路公団及び施工業者である白石基礎株式会社が細心の注意を払っているため、維持管理が極めて良好な状態であつた。土木研究所ではこの計器を借用し、利用させて載いて実験を実施した。

加速度計は井筒完成後、井筒内の水替えを行い、井筒内部を中空の状態にして、井筒内側の壁面にドライビットにより取付けた。従つて実験は井筒が中空の状態にて実施された。

埋設及び取付計器の位置を図-6に示す。

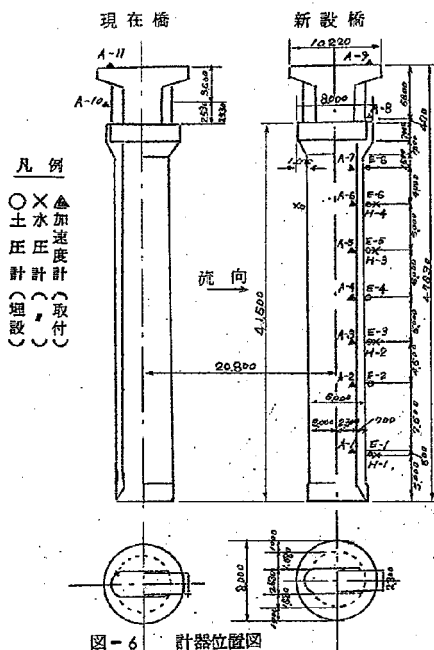


図-6 計器位置図

埋設土圧計、埋設水圧計はいずれもカールソン型土圧計、間隙水圧計であり、取付加速度計は非接着抵抗型変換器で、いずれも共和電業KK製である。使用ビックアップの容量、感度を表-2に示す。

測定は無現像方式電磁オシログラフ(三栄測器KK製ビシグラフ)とトランジスタ方式動的計測器(共和電業KK製DPM-A T型)各4台により、すべて直記方式により記録した。測定器の結線方式は図-7のようである。

測定時にビシグラフ4台を使用したため、各ビシグラフ間に同期信号を入れ、時間的に同一の時点を示すようにした。

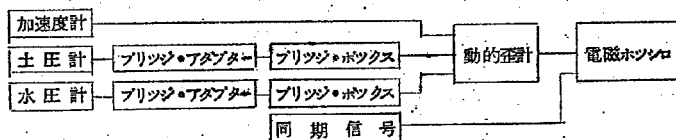


図-7 測定器の結線方式

計 器	記号	計器番号	容 量	感 度
加 速 度 計	A-1	A3179	2g	56.8 g $\cdot$ ℓ/100 μ
	A-2	A3177	2g	56.8 g $\cdot$ ℓ/100 μ
	A-3	A3443	2g	54.9 g $\cdot$ ℓ/100 μ
	A-4	A3442	2g	60.8 g $\cdot$ ℓ/100 μ
	A-5	A3445	2g	59.8 g $\cdot$ ℓ/100 μ
	A-6	A3180	2g	55.9 g $\cdot$ ℓ/100 μ
	A-7	A3178	2g	56.8 g $\cdot$ ℓ/100 μ
	A-8	26360	5g	163.7 g $\cdot$ ℓ/100 μ
	A-9	26351	5g	133.3 g $\cdot$ ℓ/100 μ
	A-10	A3444	2g	59.8 g $\cdot$ ℓ/100 μ
	A-11	26352	5g	140.1 g $\cdot$ ℓ/100 μ
土 圧 計	E-1	93245	4Kg/cm ^{2}	0.196 Kg/cm ^{2} /100 μ
	E-2	93244	4Kg/cm ^{2}	0.200 Kg/cm ^{2} /100 μ
	E-3	97409	4Kg/cm ^{2}	0.186 Kg/cm ^{2} /100 μ
	E-4	97061	2Kg/cm ^{2}	0.104 Kg/cm ^{2} /100 μ
	E-5	97060	2Kg/cm ^{2}	0.101 Kg/cm ^{2} /100 μ
	E-6	88744	1Kg/cm ^{2}	0.037 Kg/cm ^{2} /100 μ
	E-7	88745	1Kg/cm ^{2}	0.036 Kg/cm ^{2} /100 μ
	E-8	97052	2Kg/cm ^{2}	0.109 Kg/cm ^{2} /100 μ
水 圧 計	H-1	86121	4Kg/cm ^{2}	0.222 Kg/cm ^{2} /100 μ
	H-2	86138	4Kg/cm ^{2}	0.208 Kg/cm ^{2} /100 μ
	H-3	91981	2Kg/cm ^{2}	0.111 Kg/cm ^{2} /100 μ
	H-4	88764	1Kg/cm ^{2}	0.060 Kg/cm ^{2} /100 μ
	H-5	88765	1Kg/cm ^{2}	0.062 Kg/cm ^{2} /100 μ

表-2 計器容量・感度一覧表

また、自由振動実験の場合には、切断金属片が切断された瞬間の引張荷重を調べるため、切断金属片の中央に約2cm間隔に3枚づつ、両側に、ワイヤーストレンダージ6枚を貼布し、電磁オシログラフに入れて、測定した。更に、切断された瞬間の変位量を知るために、約30m離れた地点にヤグラを組み、その上に田辺式撓度計を据え付け、隣青銅線を橋脚天端と撓度計の間に張ることにより、撓み量を測定した。

2-8 実験一覧表

実施した実験を整理して示せば、表-3の通りである。

実験区分	実験番号	Weight 数	測定日時 (月・日・時・分)	測定撓度 (rpm)	備 考
強制振動実験	I-1	4	10. 8 11.50~12.17	75~258~ 68	井筒内部は空の状態にして実験。 10月7日にあらかじめ、予備実験を2回実施。
	2	4	10. 8 14.10~14.34	150~271~115	
	3	4	10. 9 14.20~14.45	80~290~ 85	
	II-1	8	10. 8 16.50~17.10	150~271~131	
	2	8	10. 9 9.50~10.13	162~278~150	
	3	8	10. 9 11.20~11.43	90~282~ 75	
	III-1	16	10. 9 16.20~16.45	85~200~ 69	
	IV-1	28	10.10 10.25~10.50	80~167~ 65	
	V-1	10	10.10 12.30~12.55	100~275~126	
	2	10	10.10 13.40~14.01	180~278~155	
	VI-1	6	10.10 15.10~15.32	202~300~210	
	VII-1	6	10.13 13.45~14.02	150~299~160	
自由振動実験	2	6	10.13 15.20~15.43	150~301~150	井筒内部に水を満たした状態で実験。
	I	50t	10.11		Weight 数覧の値は作用させた引張力。 引張力50tにて予備試験1回実施。
	II	100t	10.11		
	III	100t	10.12		
	IV	100t	10.12		

表-3 木曾川橋実験一覧表

3 静土圧

井筒に埋設した土圧計を用いて、静止している井筒に働く土圧と水圧を、実験を実施する前後に測定した。実験前の結果を図-7に、実験後の結果を図-8に示した。

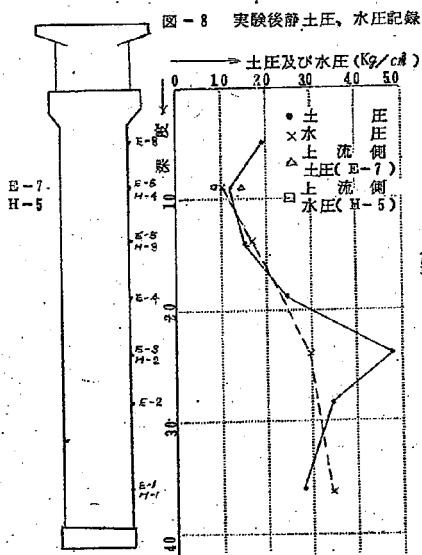
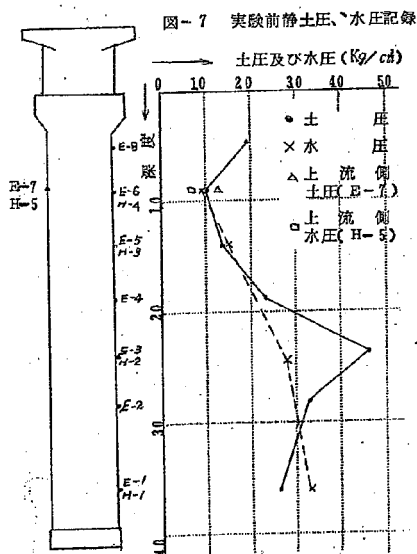
実験前後の結果には、大差はないが、実験後の静土圧と水圧の値が、実験前の値より若干大きくなっている。

土圧分布形状及び土圧と水圧の係に疑問な点があるが、これは、

- 1) 土圧計、水圧計とも、容量を超過しているものがある。
- 2) 土圧計と地盤との接触不良
- 3) 土圧計、水圧計の零点の移動

などによるものと考えられる。

振動実験では、単時間の荷重変化を測定すること、荷重の変動値が小さいこと、などから影響がないと判断している。



4 強制振動実験

4-1 加振方法

強制振動実験の加振方法は、アンバランスマスを回転させることにより振動荷動を生ずる機構をもつ起振機を作動させることによつた。

今回の実験に使用した起振機は昭和39年度に建設省土木研究所が製作した低周波起振機で、この諸元は次の通りである(図-9参照)。

型 式	軸垂直型反動方式
外 形 寸 法	7,540×3,000×1,554
偏心モーメント	最大約1.5 t.m
起 振 力	最大40 t
振 動 数	0.25~5 c/sec
加 振 方 向	水平二方向
重 錘 取 換 可 能	10通り
重 量	約7.5 t
使用モーター	VS 50HP、AS 40HP 2基

起振機の起振力図を図-10に示す。

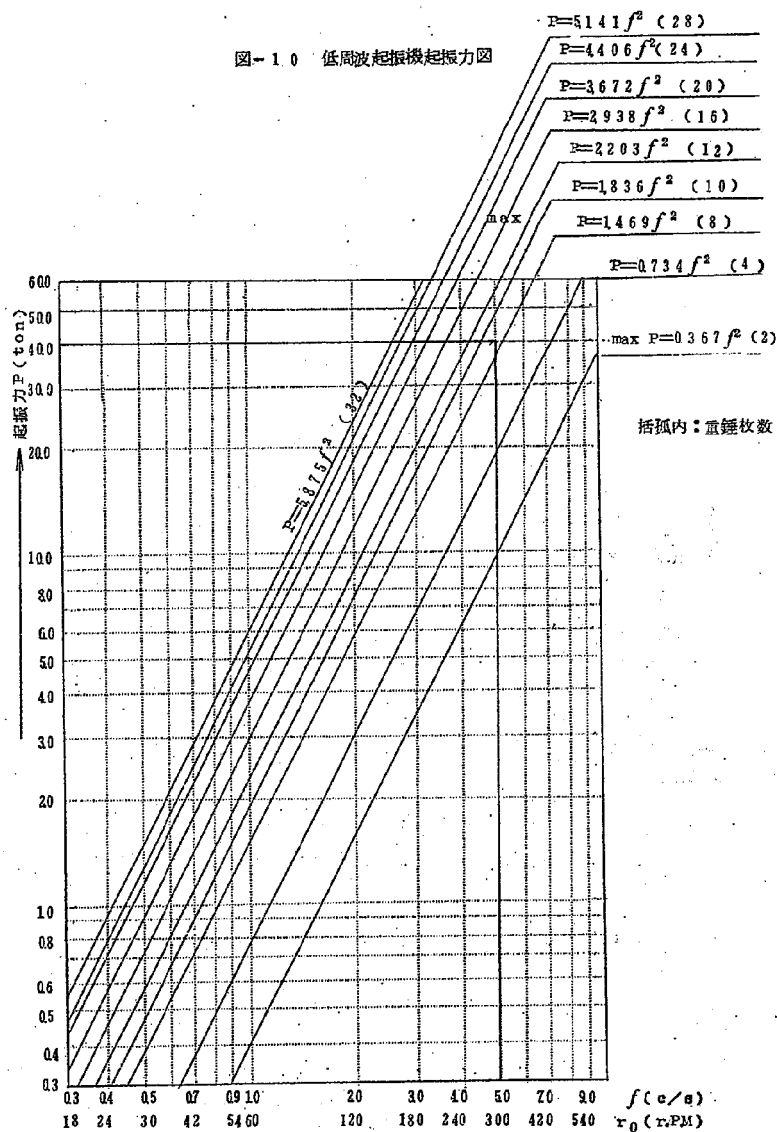
本起振機の取付にあつて、まず起振機のアンカーボルト孔に合わせてゲージプレートを作製し、それに基づいて、厚さ12mmと6mmの2枚のアンカプレートを作製した。厚さ12mmのアンカプレートを橋脚の鉄骨天端に橋脚鉄骨完成時に溶接で固定し、これにアンカーボルト44本を取付ける。ガイドプレートとして、厚さ6mmのアンカプレートを約10cm浮かせて固定し、橋脚躯体コンクリートを打設した。コンクリート硬化後、厚さ6mmのアンカプレートを取りはずすと、所定の位置にアンカーボルトが埋設されていることになる。厚さ12mmのアンカプレートは埋め殺しである。アンカプレート取付状況図を図-11に示す。

このアンカーボルトに起振機を取付け、図-12のような状態で、加振実験を実施した(写真2参照)。

実施した実験内容については、表-3に示してある。

以下に実験結果を示す。

图-10 低周波起振机起振力图



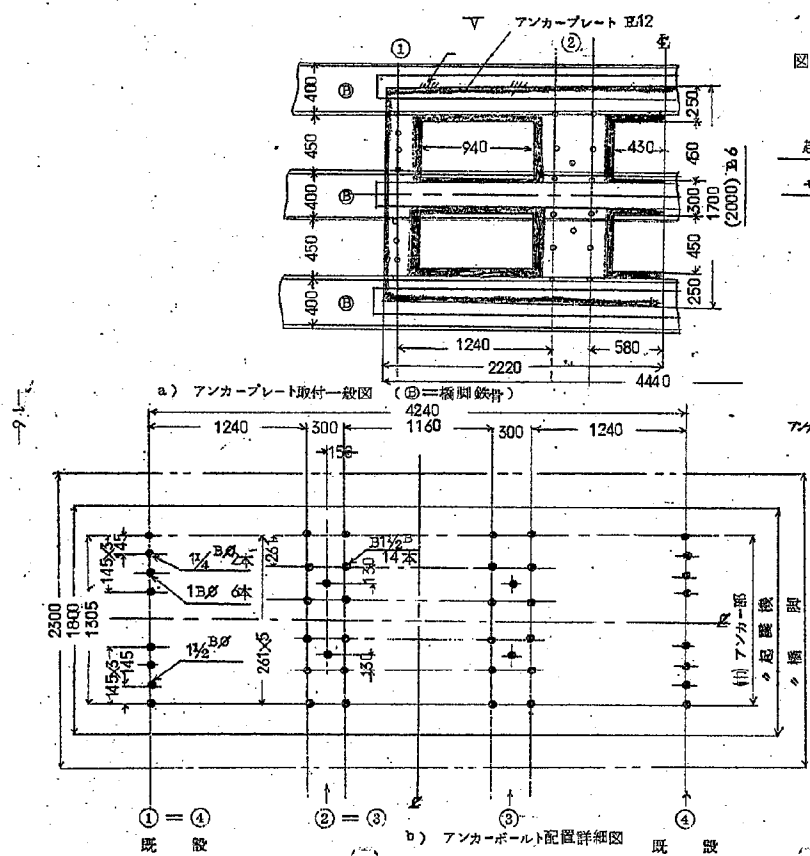
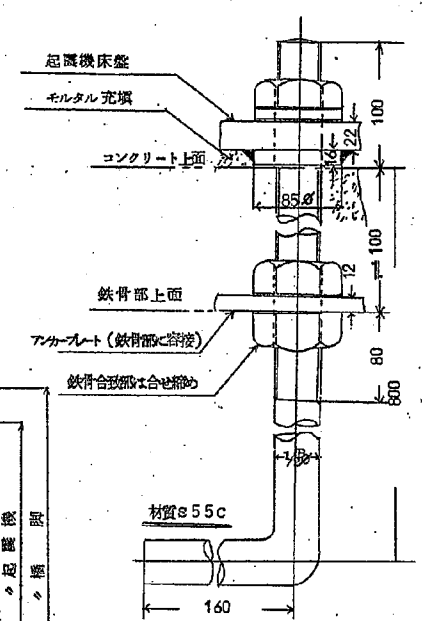


図1.1 アンカープレート取付状況図



c) アンカーボルト取付詳細図

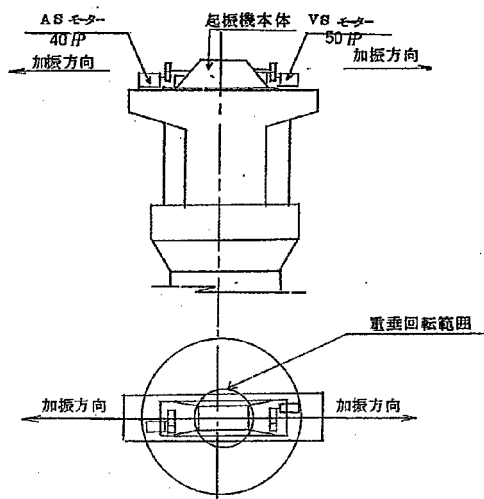


图-1 2 起振機取付図

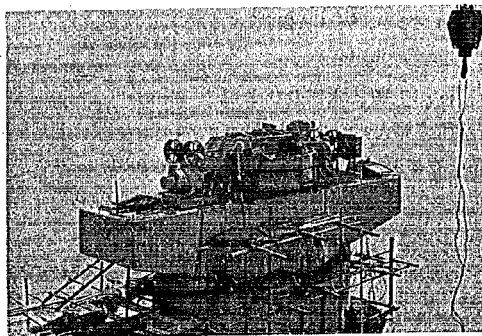


写真 2 強制振動実験実施状態

4-2 共振曲線

各実験毎の全計器についての共振曲線を示すと、非常に数が多くなるため、共振曲線の一部を本報告書の最後に一括して共振曲線(1)~(50)として附図-1に示した。

附図-1の内訳は下表の通りである。

共振曲線	井筒内の状態	実験番号	計器番号
(1)~(36)	井筒内中空の場合；新設橋	I-3, II-3 V-1, VI-1	A-1~A-9
(37)~(44)	井筒内中空の場合；現在橋	I-3, II-3 V-1, VI-1	A-10, A-11
(45)~(50)	井筒内満水の場合；新設橋、現在橋	VII-1, VII-2	A-8, A-9, A-11

共振曲線はすべて、横軸に振動数 f (c/s) を、縦軸に実変位 y ($\times 10^{-3} cm$) をとつてある。実験番号、計器番号、ウェイト数を各共振曲線毎に示しておいた。

実験は起振機の回転が始まつてから最高回転にまで増大する上りと、最高回転から回転が止まるまでの下りについて、それぞれ測定を行つたが、同一の実験においては、上りと下りに大差がないため、区別せず、すべて上りのみをプロットとした。

各共振曲線毎に示した f, y の値は、この共振曲線を各ウェイト数毎に比較してみて、測定を行つた最大振動数近くの点において、凸形になつた点の振動数及びその点の実変位を示している。 h は減衰定数を示しているが、今回の実験結果では減衰定数を求めることができなかった。

4-3 最大変位、土圧、水圧及び K 値

各実験毎に最大変位、最大土圧、最大水圧をプロットとしたものを附図-2に示す。即ち、橋脚の根入長さ方向に取りつけられた各計器において、加振力に対する変位、土圧、水圧の最大値は、位相差によつて若干、時間的にずれを生じてくるが、このグラフはすべて、最大値を結んだものである。

図表(1)~(11) は井筒内部を中空として実験を行つた場合、図表(12)(13) は井筒内部を満水状態にした場合である。

横軸に変位 (cm)、土圧 (Kg/cm^2)、水圧 (Kg/cm^2) をとり、縦軸に橋脚の根入長さをとつている。

取り上げた振動数は、共振曲線において、 f_r の値を示した場合には、計器 A-7 が示している f_r の振動数で、また f_r の値を示していない場合には計測を実施した最大振動数で図表をプロットした。その値を各図表毎に f の欄に示し、図-10 よりその時の起振力を計算して P の欄に示した。

実線は変位の変化を、点線は土圧の変化を、鎖線は水圧の変化を示し、○印は上流側に取りつけた土圧計 (E-7) の値を、△印は上流側に取りつけた水圧計 (H-4) の値を示している。

また、最大変位と最大土圧の間には時間的ずれがなかったため、(土圧)/(変位)にて、各点の振動時の K 値を求めて、() 内に記入した。

4-4 振動モードと動土圧分布

本報告書の末尾に一括して、附図-3 として、振動モードと動土圧分布を示した。この振動モード及び動土圧分布はすべて、井筒内部を中空にしたときである。

橋脚の根入長さ方向に取りつけた各計器は、加振力が作用した場合、位相差によって若干の時間的ずれを生じるため、4-3 節に示した図表と若干、違っている。

計測時に各ビシグラフ間に同期信号を入れて同期してあつたので、それを基準にして、1/50 sec 間隔にグラフを読み取り、プロットできた。

従つて、橋脚の振動及び動土圧分布は 1、2、3、4 の順序で 1/50 sec 間隔にて繰り返されることを示している。

横軸に変位 (cm)、土圧 (Kg/cm^2) をとり、縦軸に橋脚の根入長さをとっている。水圧分布は非常に小さい場合があるため、プロットをしなかつた。

図を描いた振動数は 4-3 節の図の振動数と全く同一である。

実線の 1、2、3、4 は橋脚の振動モードを、点線の 1、2、3、4 は動土圧分布を示している。

5 自由振動実験

5-1 加振方法

自由振動実験における問題点は、50 t 及び 100 t の作用水平力を瞬間的にどのような方法にて構造物に作用させるかという点であつた。これに関して考えられる方法としては

1) 両橋脚を 50 t 及び 100 t にて押し、この押材をダイナマイトなどの爆薬にて、瞬間的に取り除く方法

2) 両橋脚を 50 t 及び 100 t にてワイヤロープで引張り、これを何らかの方法にて切

断する方法

の2方法が考えられる。1)の方法は爆発した瞬間、その爆発の影響が作用力に及び、実際の作用水平力が大きくなり、又非常に危険である点に欠点があり、2)の方法は50t及び100tという力を作用させる時に、どのようにして引張るかが問題となり、ねじれ、偏心のないよう引張ることに難点があった。

しかし、今回の実験では経費の点を考えて、2)の方法を採用することとした。

2)の方法を採用するとしたが、やはり切斷方法に問題があり、切斷方法としては、

- 1) ガス切斷又はダイナマイトにて切斷する方法
- 2) 金具を取付けて、テコにて取外す方法
- 3) 自動的に引張り機構の途中にて切斷される方法の3方法が考えられた。

1)の方法については、相当な危険を伴う上、実験を何回か繰り返し実施する関係上、ワイヤロープの再使用及び取替えなどの点で費用的にもコストが高くつく。

2)の方法については、今回計画した実験では、引張り荷重が50t及び100tで、相当大きいので、大がかりな設備を要する。

3)の方法については、正確な荷重で切斷されない欠点があるが、費用が最も少なくて済む。

以上の点を考慮に入れて、経費の点から考えて、3)の方法を採用することとした。即ち、ワイヤロープにて引張り、その中間に切斷金属片を取付けて、自動的に切斷される方法を採用した。

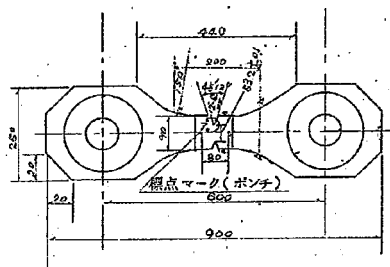
切斷金属片の製作はあらかじめ、予備試験を行い、切斷金属片が(50±5)t及び(100±5)tの精度で自動的に切斷されるように断面を決定し、図-13、14に示すような切斷金属片を4個作成した。

切斷機構を図-15に示す。切斷金属片を中心にして、ワイヤロープを張り、滑車にて引張り荷重を減少させて、ウインチで引張った。

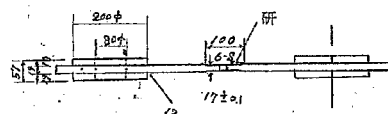
荷重は切斷金属片に接続して、張力板を設け、その両面に3枚ずつ6枚のワイヤーストレングスゲージを貼り付け、ビジグラフにて連続的に測定した。

ウインチにてワイヤロープを引張る際、ワイヤロープに偏心とねじれが相当、作用するが、ねじれは切斷金属片に伝わらないよう、ねじれ止め金具を設けて防止し、偏心は一度小さな水平力を作用させて、ワイヤロープの張り直しをして、ゆるみのない状態にして防止した(写真3、4参照)

以下に実験結果を示す。



詳細図 7



詳細図 7

図-13 50t用切断金属片

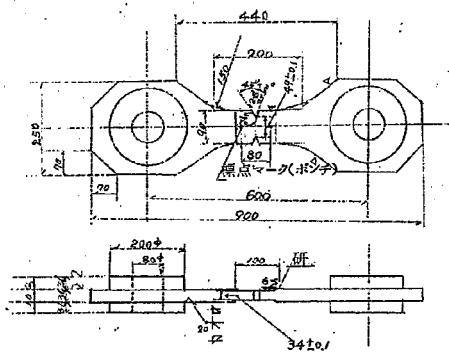


図-14 100t用切断金属片

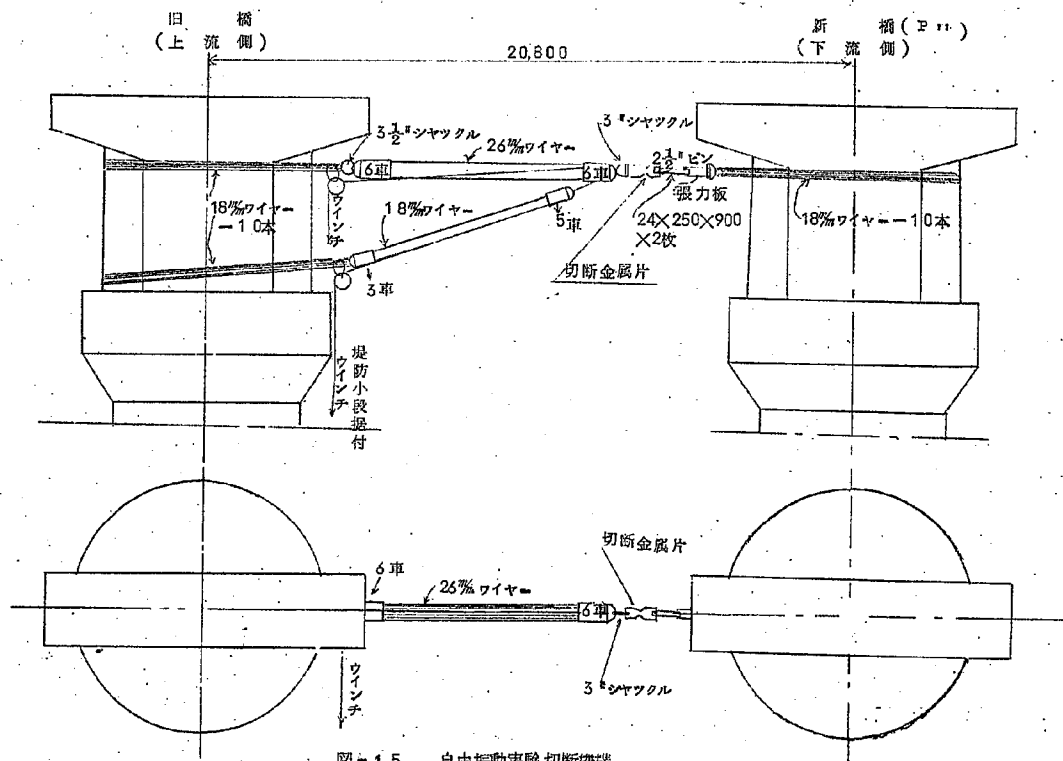


図-15 自由振動実験 切断機構

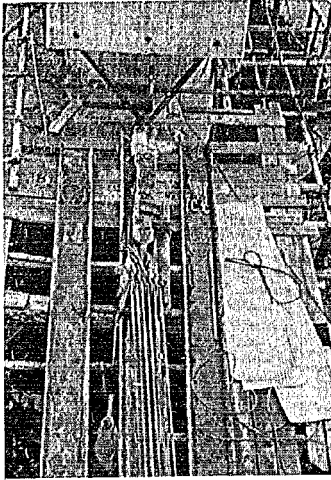


写真3 自由振動実験状況

5-2 切断時の橋脚作用荷重と 初期変位

切断用金属片が切断された時、橋脚に作用した荷重を表-4に示す。また、その時の橋脚天端の変位を撓度計より読みとつた結果を表-5に示す。

切断時の橋脚作用荷重は張力板にねじれを生じているため、ストレンゲージより求めた各々の値にかなり差があるが、対称にはりつけてあるため、平均することにより、誤差をとり除いた。

切断時の初期変位を撓度計により測定したが、5-4節で求めた変位よりかなり小

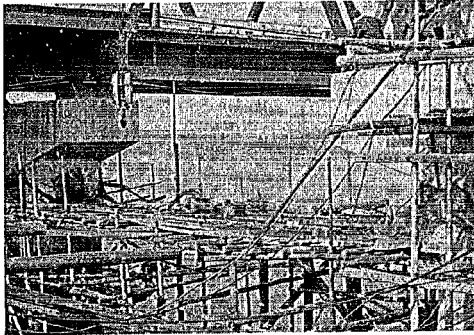


写真4 切断状態

さい。これは脚青銅線を30m程度張つたため、変位に追随しなかつたためと考えられる。

表-4 切断時の橋脚作用荷重 (単位 ton)

実験番号	作用荷重		平均値
I	1. —	4. —	53.5
	2. 48.5	5. —	
	3. 48.5	6. 58.5	
II	1. 64.9	4. 92.0	105.0
	2. 64.9	5. 130.0	
	3. 68.0	6. 207.0	
III	1. 127.1	4. 73.7	82.4
	2. 80.0	5. 75.6	
	3. 64.9	6. 72.5	
IV	1. 52.9	4. 90.7	89.5
	2. 60.5	5. 67.4	
	3. 58.5	6. 208.0	

表-5 橋度計による初期変化

実験番号	読み (mm)	変位 (cm)
I	0.5	0.010
II	1.1	0.022
III	0.8	0.016
IV	0.9	0.018

5-3 共振振動数と減衰定数

自由振動実験(I)~(IV)の加速度計に関する自由振動曲線を複写したものを、本報告書の最後に一括して、自由振動実験記録(I)~(IV)として附図-4に示した。

この記録はすべて、井筒内部は中空状態で実験を実施したものである。加速度計A-1~A-9は新設橋に取付けた計器、A-10、A-11は現在橋に取付けたものである。

自由振動曲線記録はすべて、横軸に時間 t (sec) を、縦軸には測定した歪の記録 ($\times 10^{-6}$) である。

横軸の時間間隔は、各曲線の上側に時間 t として示してある。

各曲線毎に示した T 、 h の値は、この振動記録より、求めた共振振動数及び減衰定数である。この T と h の値は自由振動曲線になっていると考えられるものについてのみ示した。

5-4 振動モードと動土圧分布

本報告書の末尾に一括して、附図-5として振動モード、振動時の土圧分布及び変動する水圧分布を示している。自由振動実験の場合、振動曲線が減衰してゆくが、これらの曲線は、第一番目の最大点をとってプロットしたものである。

実線が振動モード、点線が動土圧分布、鎖線が変動する水圧分布である。

また、○印は上流側土圧計 (E-7) の記録、△印は上流側水圧計 (H-4) の記録である。

() 内は各々の点における K 値を示している。

6. 実験結果の考察

以上の実験の範囲内で、次のことが考えられる。

1) 共振振動数と減衰定数

強制振動実験では低周波起振機を使用したため、加振振動数の範囲が共振振動数をカバーせず、共振点、減衰定数を求めることができなかった。

低周波起振機を用いた理由は、あらかじめ実施した計算結果に基づいている。

現在まで、報告されている計算関係式のうち、ケーソンを剛体として取り扱っているものと、弾性体として取り扱っているものを取り上げ、計算した結果、固有振動数については次の通りであつた。

ケーソン側面の 地盤反力係数	ケーソンを剛体として 取り扱っているもの *	ケーソンを弾性体として 取り扱っているもの **
$K = 0.2 \text{ Kg/cm}^2$	1.9 c/s	1.3 c/s
$K = 0.5 \text{ Kg/cm}^2$	3.0	2.0

* 建設省土木研究所 新葛飾橋々橋脚振動実験 昭和39年3月

** 後藤 尚男 橋梁下部構造の振動性状について *

土木学会誌 昭和28年4月

ところで、低周波起振機の加振振動数の範囲は $0.25 \sim 5 \text{ 秒}^{-1}$ である。従つて、低周波起振機を用いて実験を実施するのが適當であると考へた。

自由振動実験では、大略、共振振動数が $4.0 \sim 6.8 \text{ 秒}^{-1}$ 、減衰定数は $0.600 \sim 0.150$ であつた。

2) 計算値と実測値の固有振動数の違いを現在の計算式にてカバーするため、地盤が一様な地盤反力係数をもつとすると、 $K = 1.5 \text{ Kg/cm}^3$ になる。

3) 動的地盤反力係数

強制振動実験より求めた地盤反力係数 K 値の深さ方向の分布とプレシオメータの結果とを図-16に示す。

実験より求めた動的地盤反力係数はプレシオメータ試験による地盤反力係数より大きく、砂地盤で 2.5 Kg/cm^3 前後、シルト質地盤で 1.0 Kg/cm^3 前後の値を示している。この種地盤に対しては動的地盤反力係数は深さ方向に比例して大きくなつてゐる。

4) 振動モード

橋脚の根入長さ方向に取りつけられた各計器は、加振力が作用した場合、位相差より、かなりの時間的ずれを生じてゐる。

根入長さが 4.0 m にもなるような長柱構造物と考えられる井筒の場合には、明かに曲げ変形の影響を非常に大きく受け、井筒の天端近くにて、特に大きく変形し、従つて、振動の中心が上部に来ることになる。

5) 変動する水圧分布

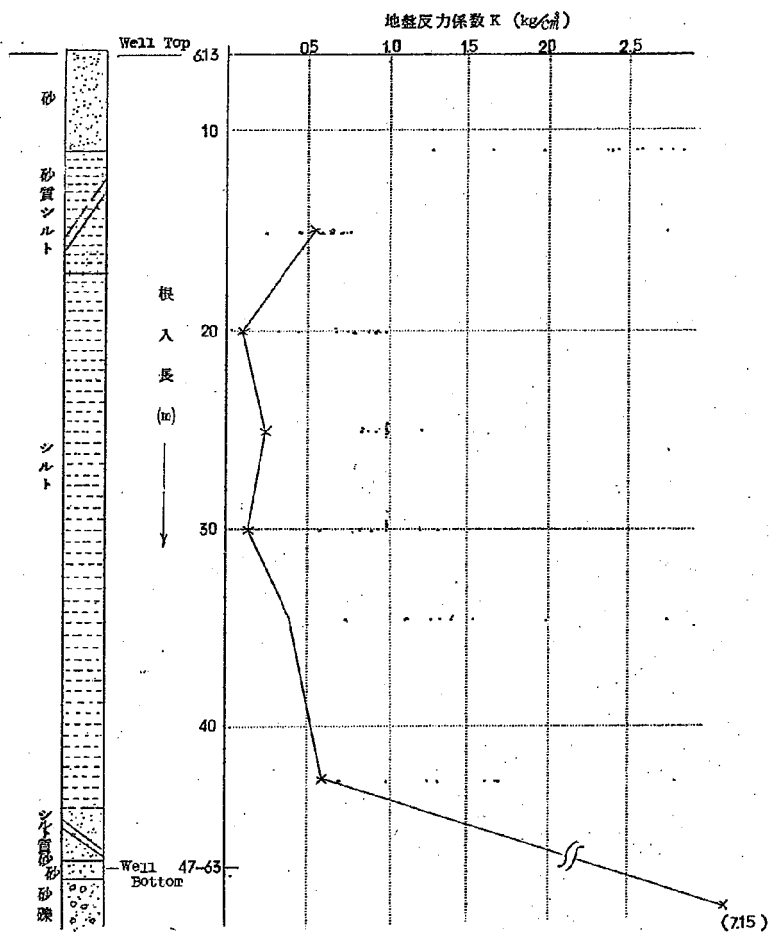
振動時の変動する水圧分布は明瞭には現われにくい。大略、土圧の $1/3$ 位である。

6) 現在橋の性状

現在橋の振動性状は強制振動実験からは、共振点がいづつも現われる傾向を示し、自由振動実験からも非常に不規則な現象が示された。

共振点が多く出現するのは、上部構造の影響、加振力の伝達方法の不規則性、実際の振動が曲げ、せん断、捩り振動などの連成振動によることなどの理由からと判断される。このことは、実際の地震時の傾向を定性的に示していると考えられる。

図-16 動的地盤反力係数の分布



(● 動的地盤反力係数
× プレサオメータ試験による地盤反力係数)

7) 隣接橋脚である現在橋の共振点は、およそ

2.4 c/s 3.3 c/s

4.2 c/s 4.7 c/s

の順に表われ、それぞれに対する減衰定数は

0.025、 0.045、

0.020、 0.050、

位になる。

8) 振動荷重の影響

強制振動実験の共振振動数及び減衰定数が求まらなかったため、比較できなかった。動的地盤反力係数は自由振動実験の場合が砂地盤で非常に大きく、シルト質地盤では逆に小さく求まった。

7. あとがき

以上で本報告書を終るが、強制振動実験において、共振点及び減衰定数をカバーすることができず、起振機の選択を失敗したことは残念であった。

現在、多くの方々により発表されている理論的計算があるが、まだ、橋脚の振動性状を完全に包含しておらず、本実験のようなケースが出現してくると思われる。この点については今後、追求してみたいと思っている。

最後に、本実験の計画の段階から、施工、実験、更に実験後の現在まで、全面的に協力して下さった日本道路公団名四道路工事々務所、白石基礎株式会社の方々、また、実験、整理に際して努力して下さいました関係者の方々に心から感謝の念を表する。

昭和41年 4月

基礎研究室

附 図 一 1

共 振 曲 線 (1) ～ (50)

共振曲線 (1) ～ (36)

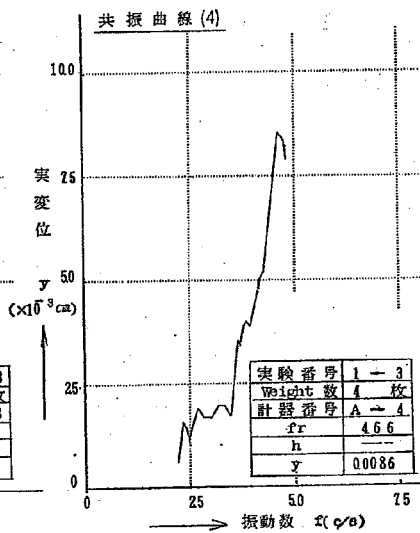
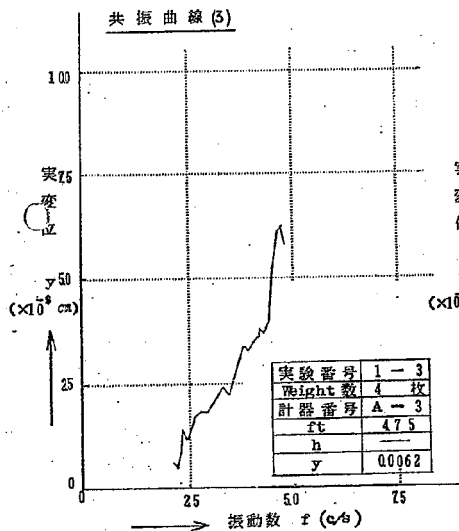
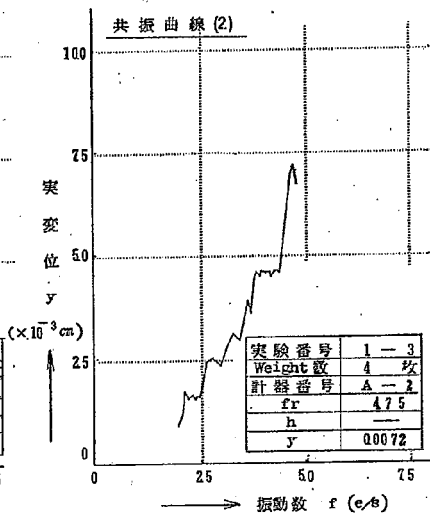
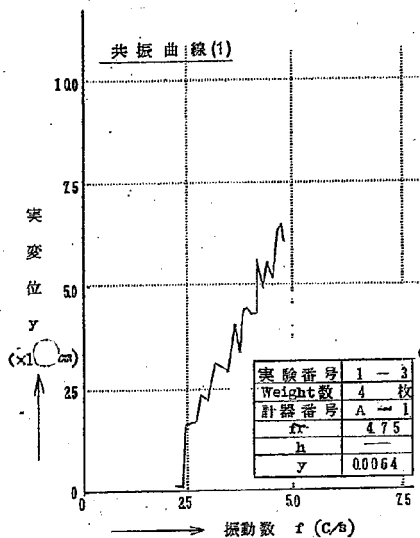
井筒内中空の場合の新設橋の共振曲線

共振曲線 (37) ～ (44)

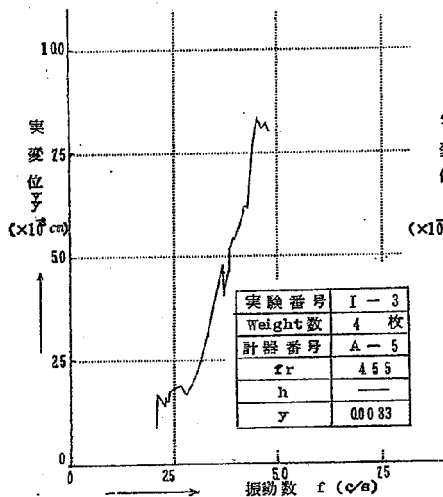
井筒内中空の場合の現在橋の共振曲線

共振曲線 (45) ～ (50)

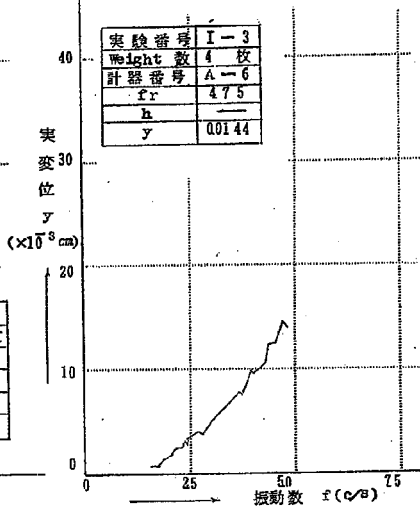
井筒内に水を満たした場合の新設橋及び現在橋の
共振曲線



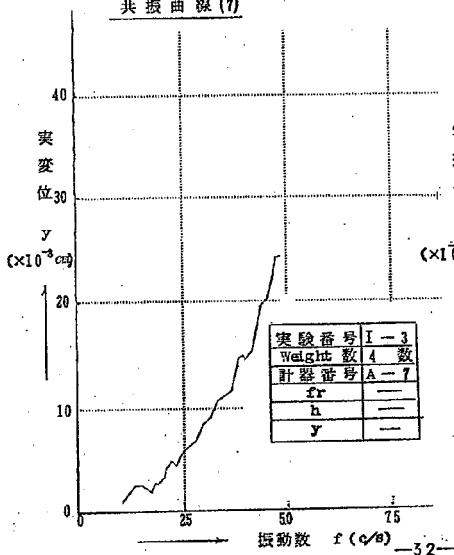
共振曲線 (5)



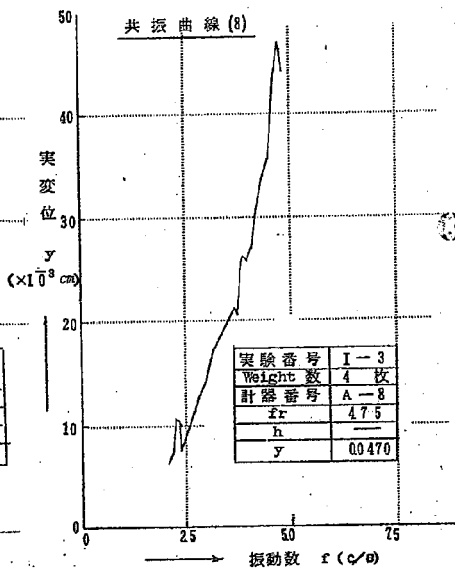
共振曲線 (6)

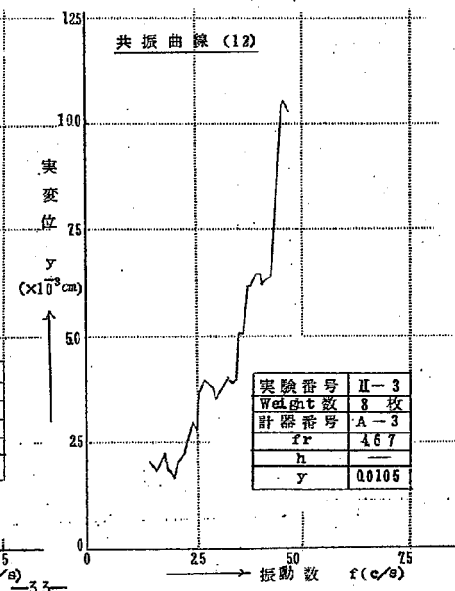
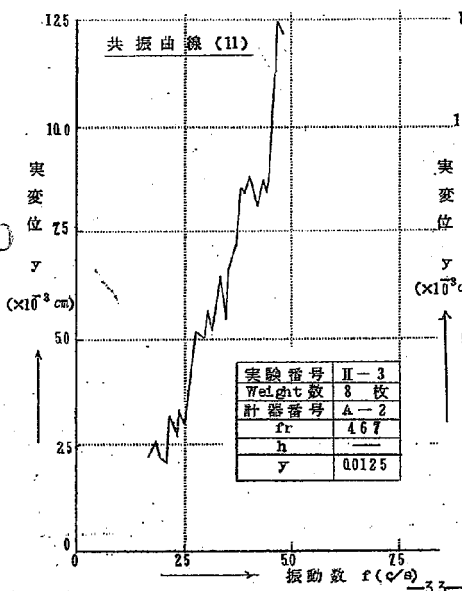
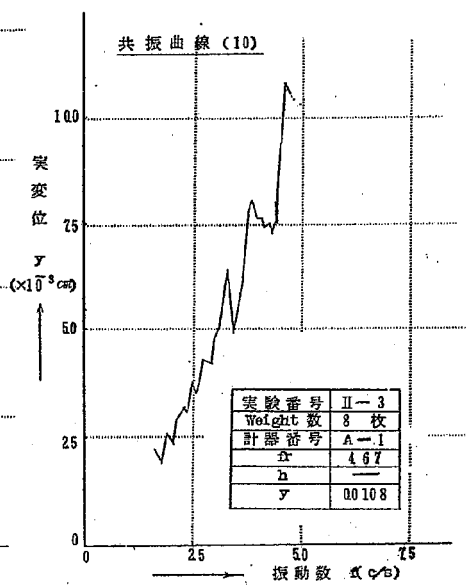
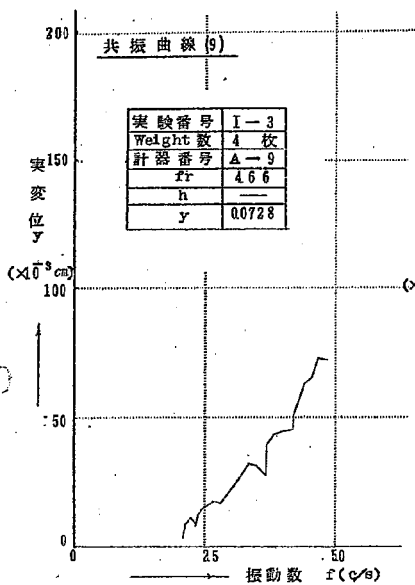


共振曲線 (7)



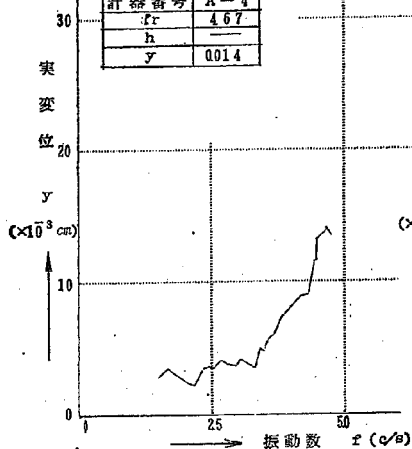
共振曲線 (8)





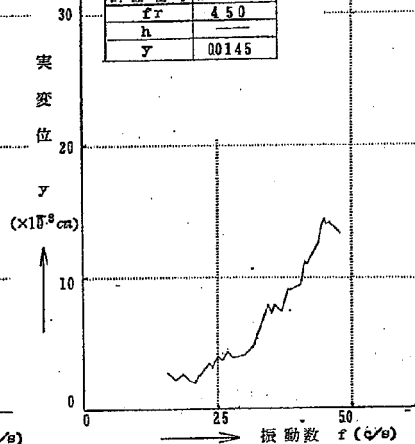
共振曲線 (13)

実験番号	II-3
Weight数	8枚
計器番号	A-4
fr	467
h	—
γ	0014



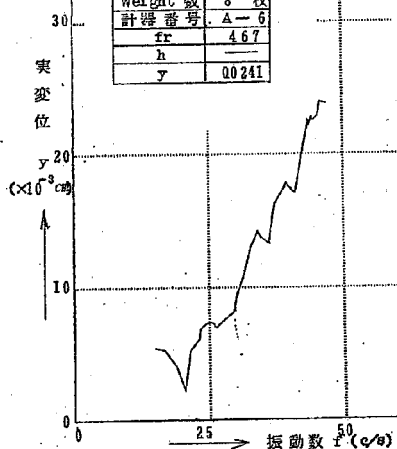
共振曲線 (14)

実験番号	II-3
Weight数	8枚
計器番号	A-5
fr	450
h	—
γ	00145



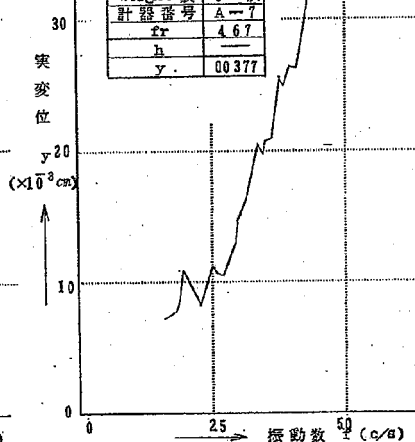
共振曲線 (15)

実験番号	II-3
Weight数	8枚
計器番号	A-6
fr	467
h	—
γ	00241

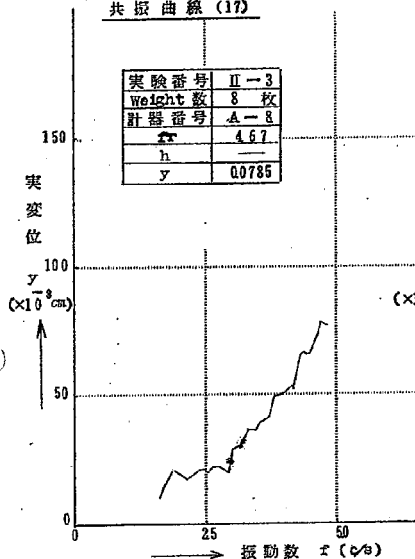


共振曲線 (16)

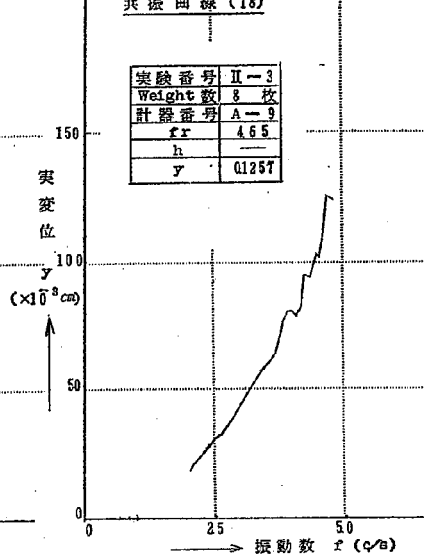
実験番号	II-3
Weight数	8枚
計器番号	A-7
fr	467
h	—
γ	00377



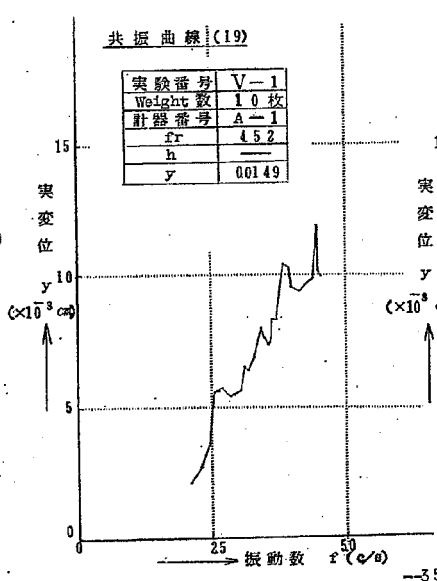
共振曲线 (17)



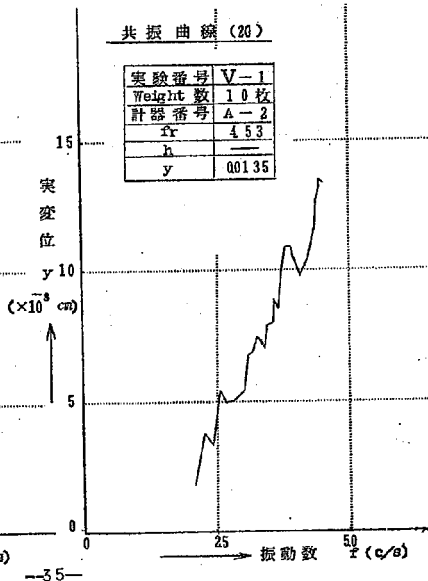
共振曲线 (18)



共振曲线 (19)

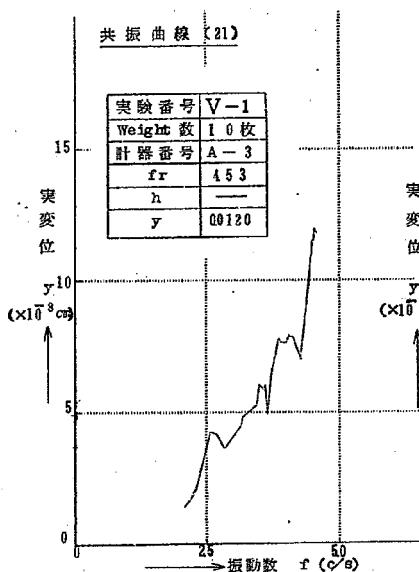


共振曲线 (20)



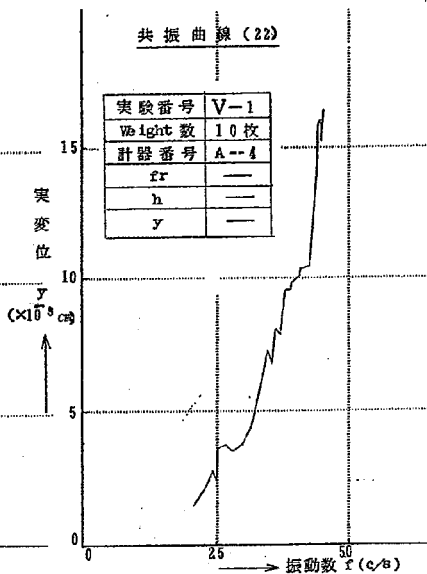
共振曲線 (21)

実験番号	V-1
Weight 数	10 枚
計器番号	A-3
fr	453
h	—
y	00120



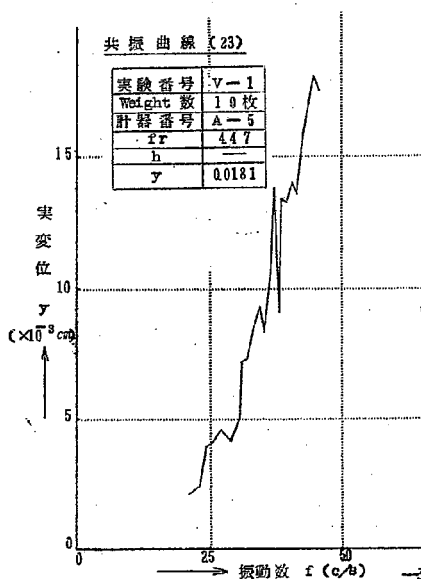
共振曲線 (22)

実験番号	V-1
Weight 数	10 枚
計器番号	A-4
fr	—
h	—
y	—



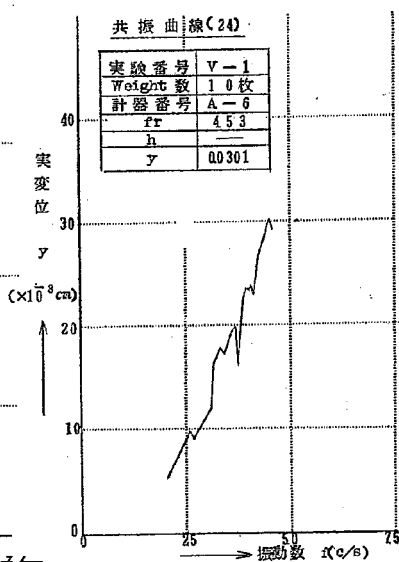
共振曲線 (23)

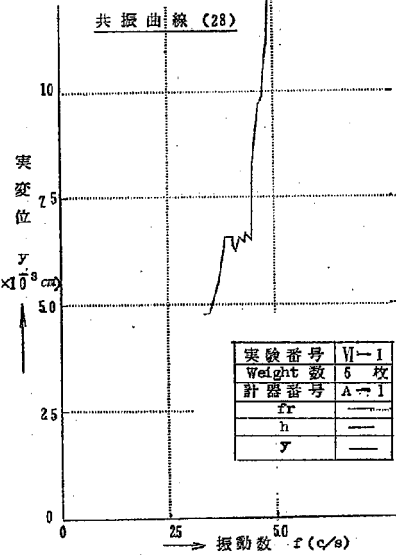
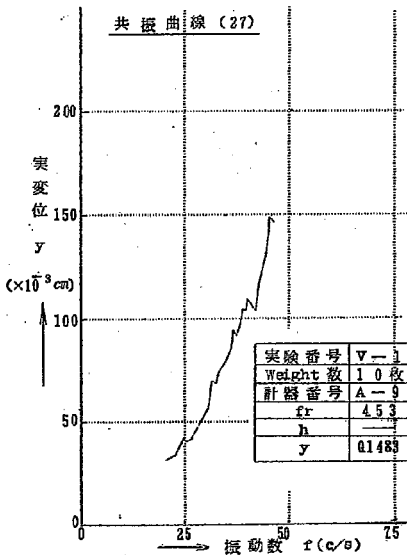
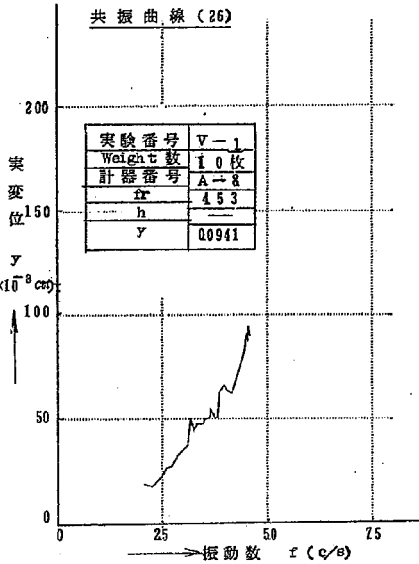
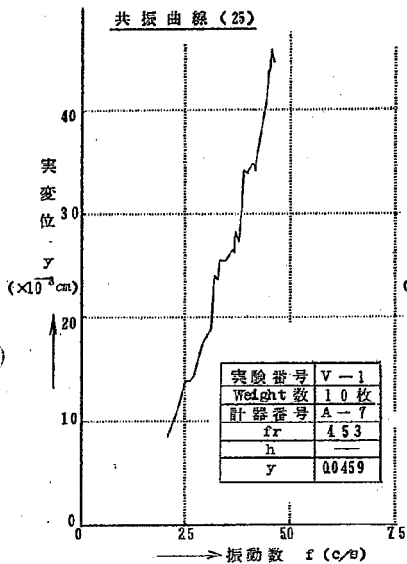
実験番号	V-1
Weight 数	10 枚
計器番号	A-5
fr	447
h	—
y	00181



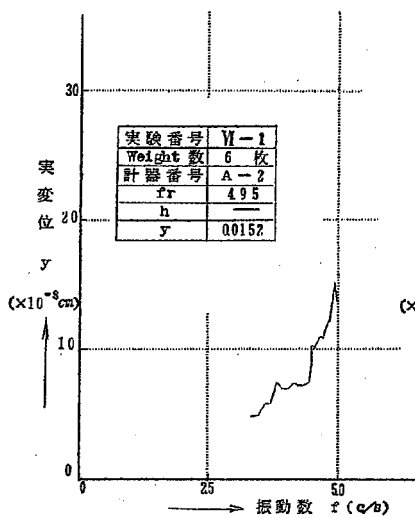
共振曲線 (24)

実験番号	V-1
Weight 数	10 枚
計器番号	A-6
fr	453
h	—
y	00301



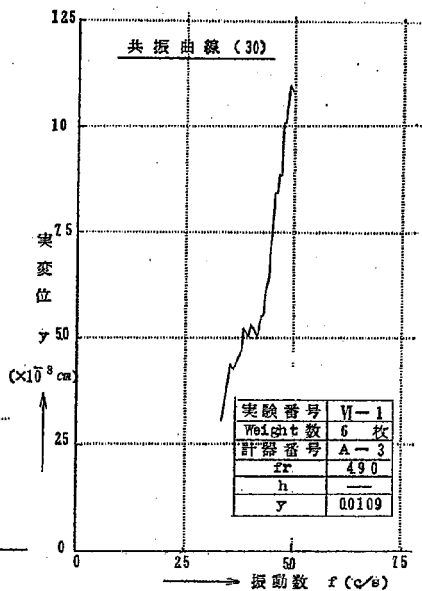


共振曲线 (29)



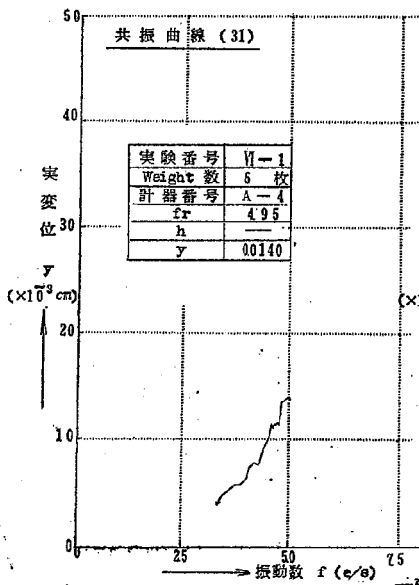
实验番号	VI-1
Weight 数	6 枚
计数器番号	A-2
fr	495
h	—
y	00152

共振曲线 (30)



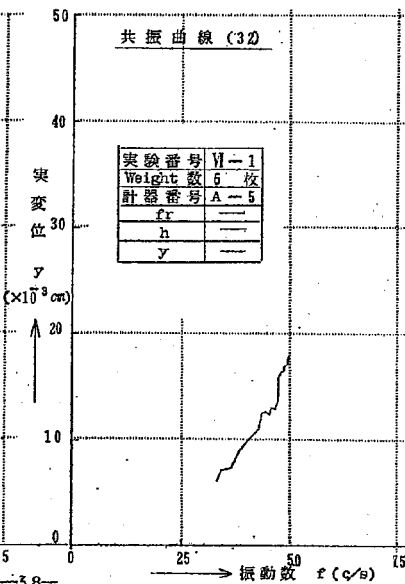
实验番号	VI-1
Weight 数	6 枚
计数器番号	A-3
fr	490
h	—
y	00109

共振曲线 (31)

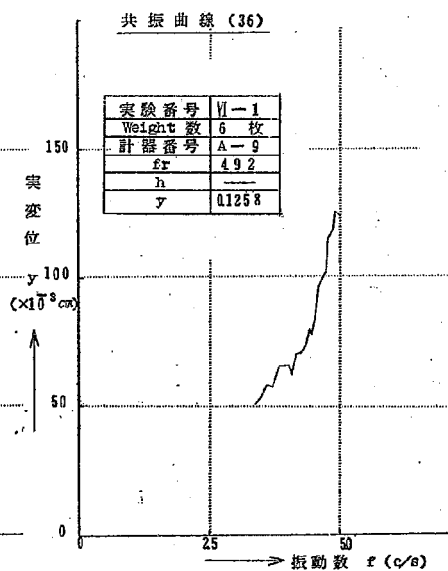
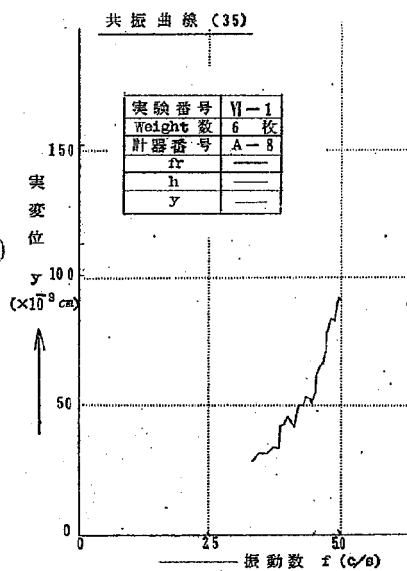
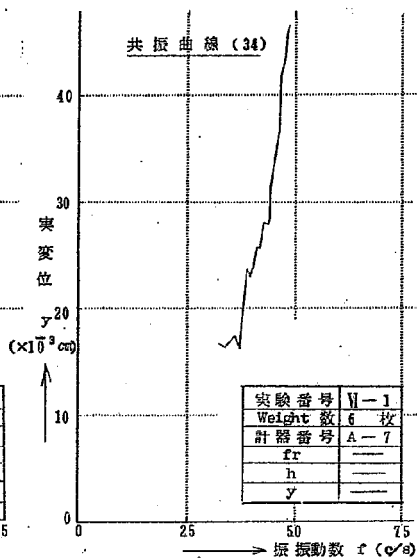
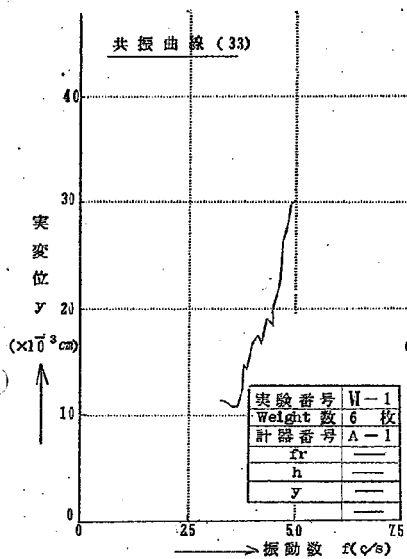


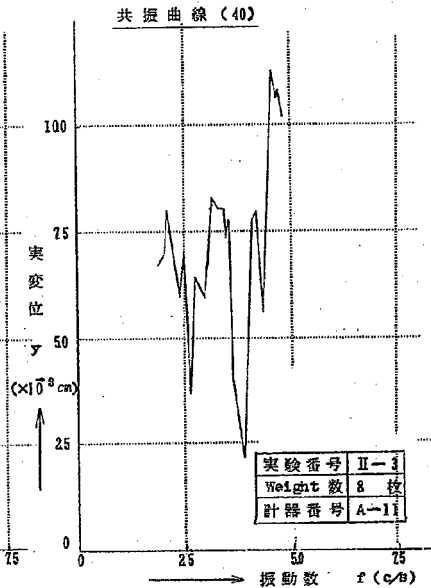
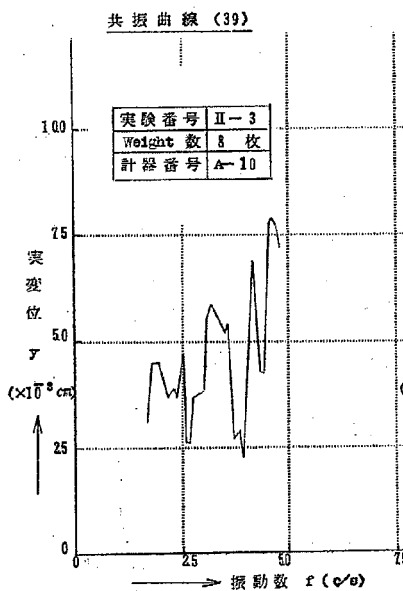
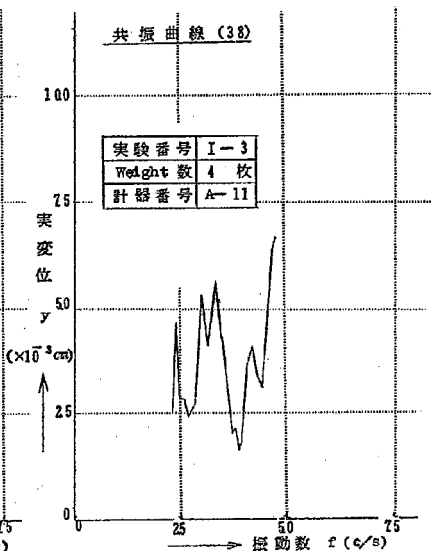
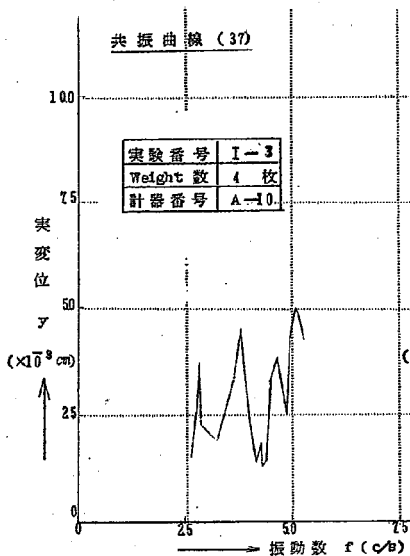
实验番号	VI-1
Weight 数	6 枚
计数器番号	A-4
fr	495
h	—
y	00140

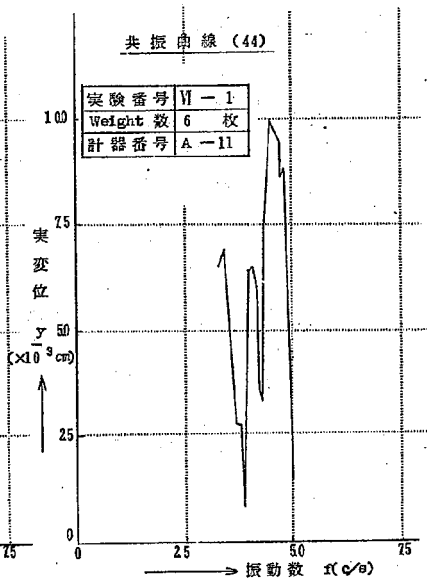
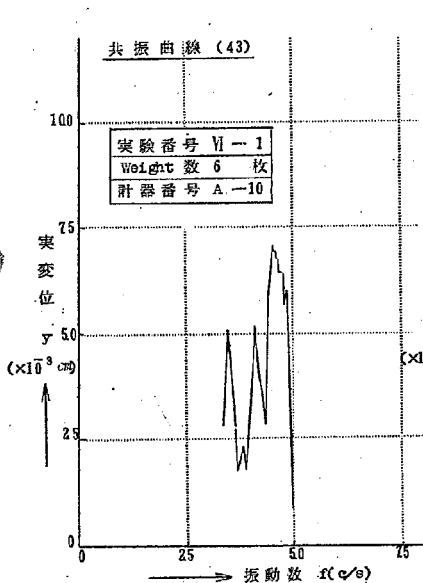
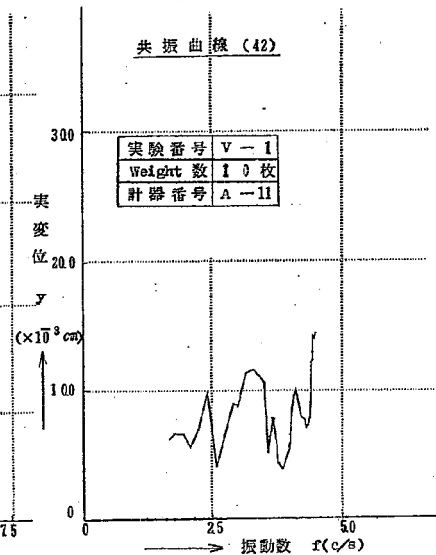
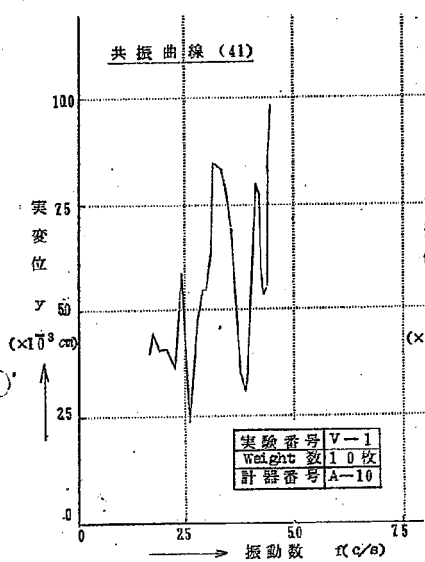
共振曲线 (32)

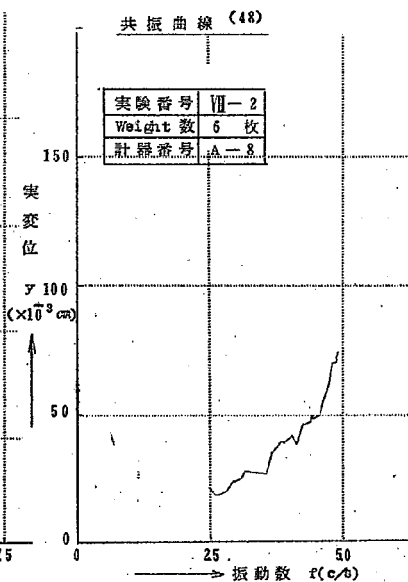
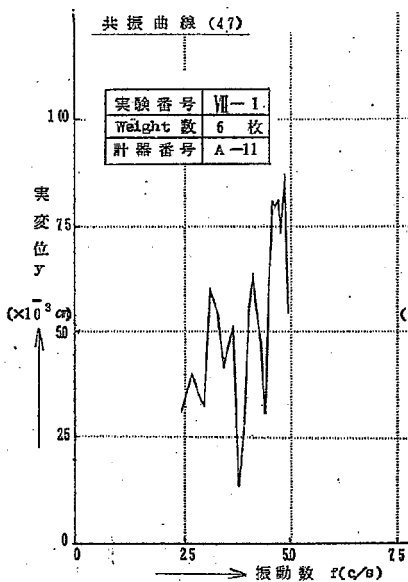
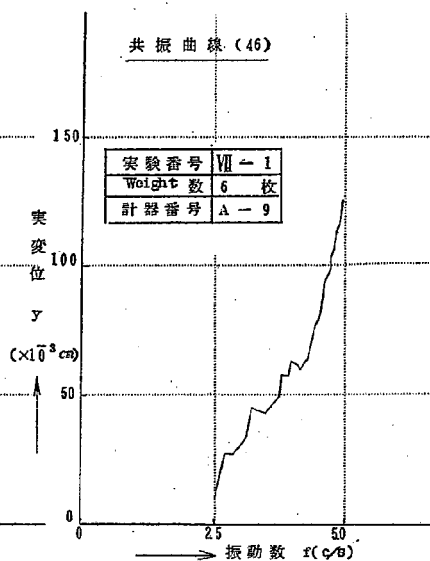
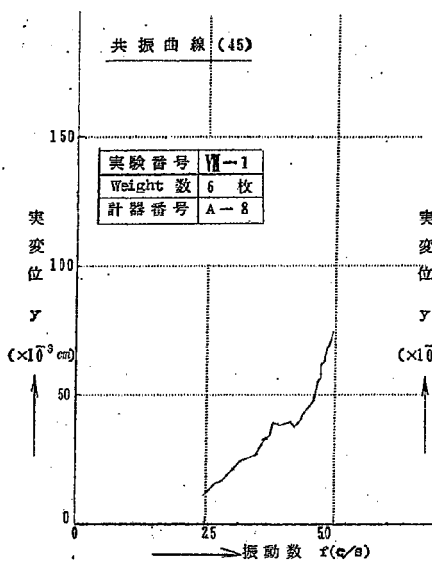


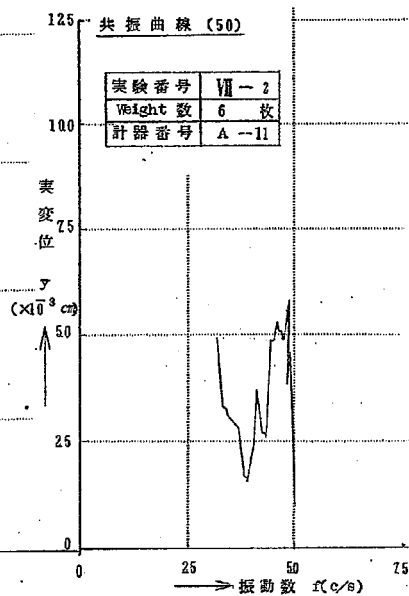
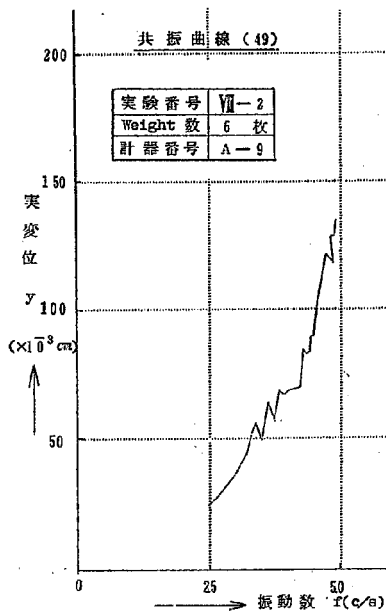
实验番号	VI-1
Weight 数	6 枚
计数器番号	A-5
fr	—
h	—
y	—









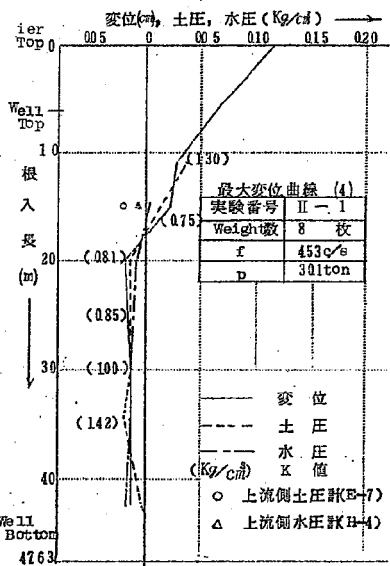
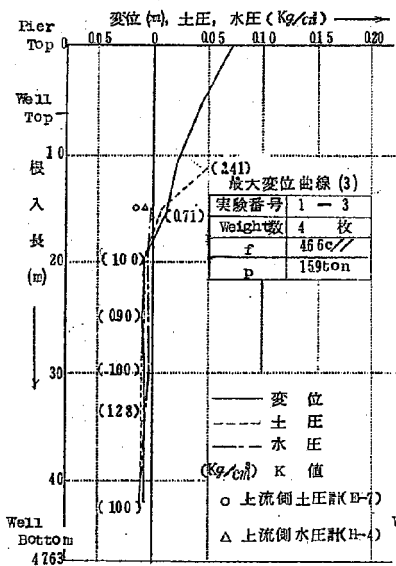
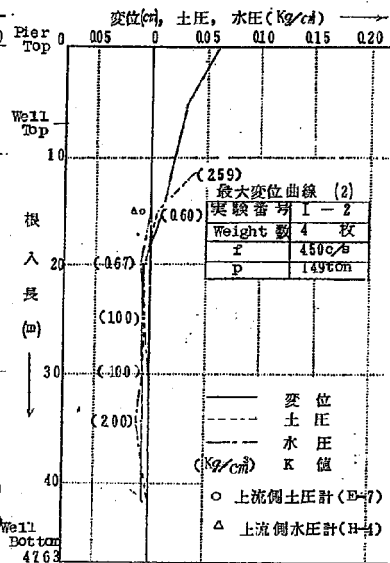
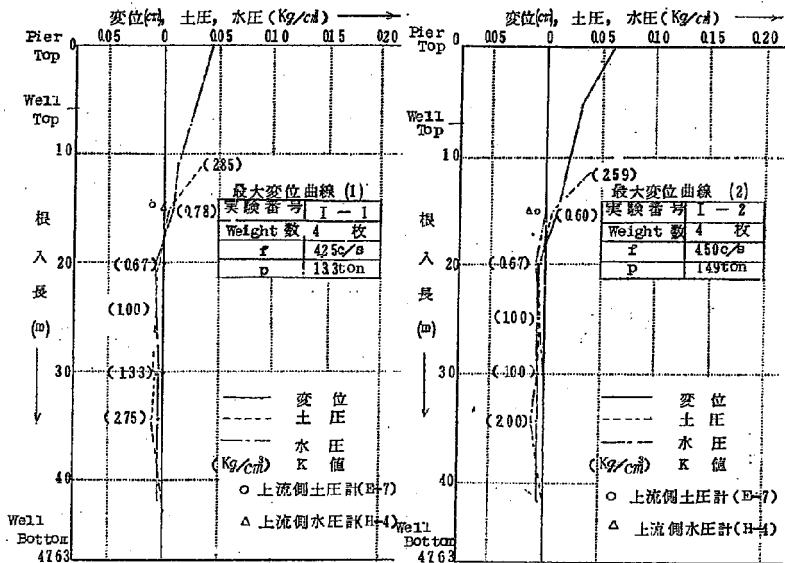


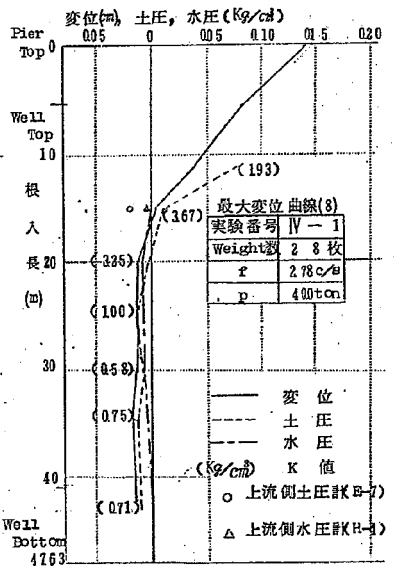
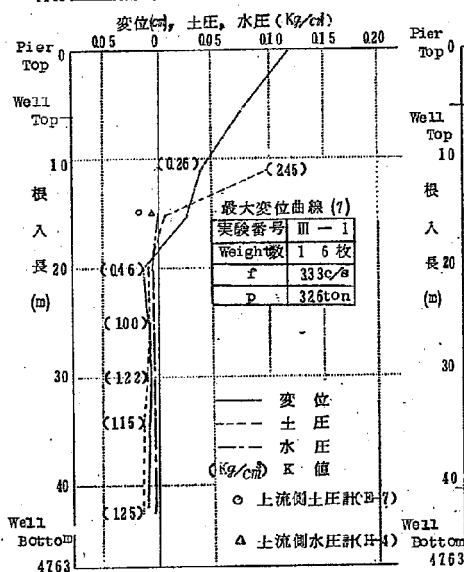
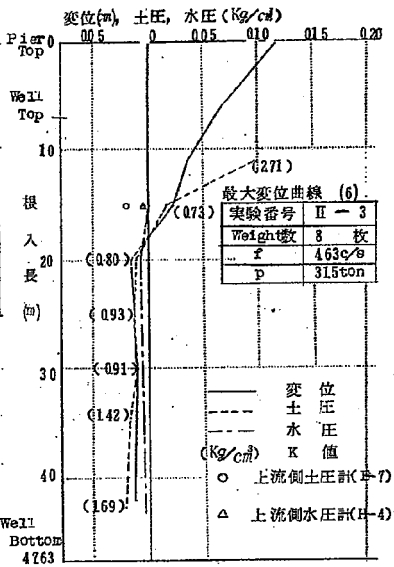
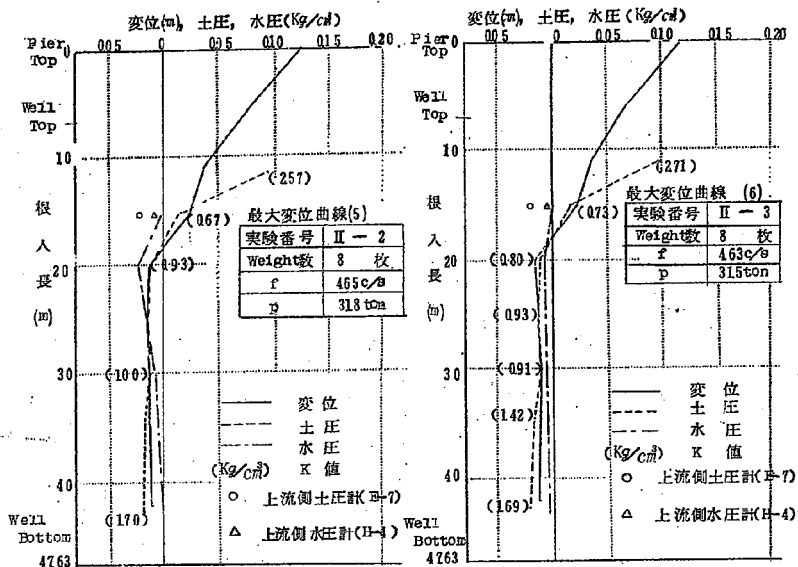
附 図 - 2

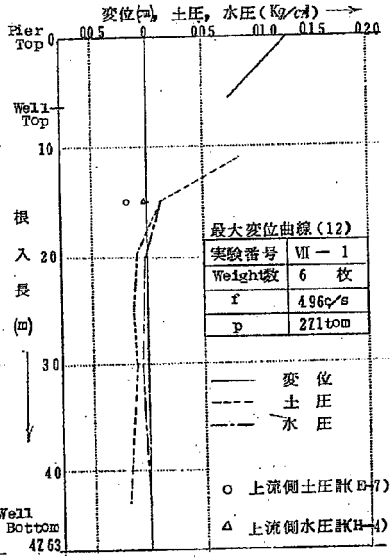
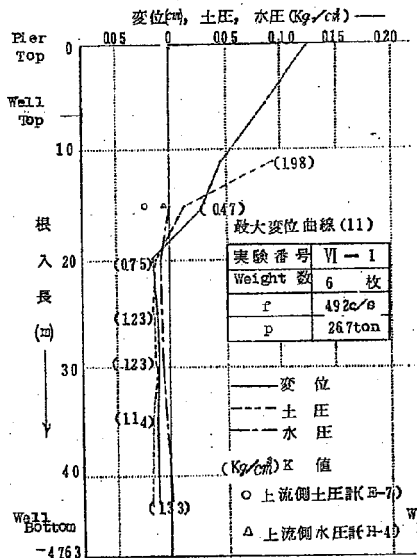
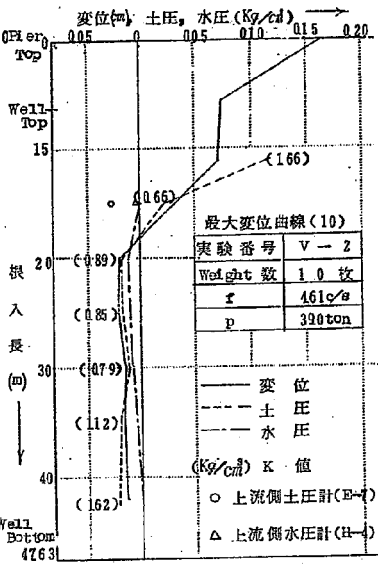
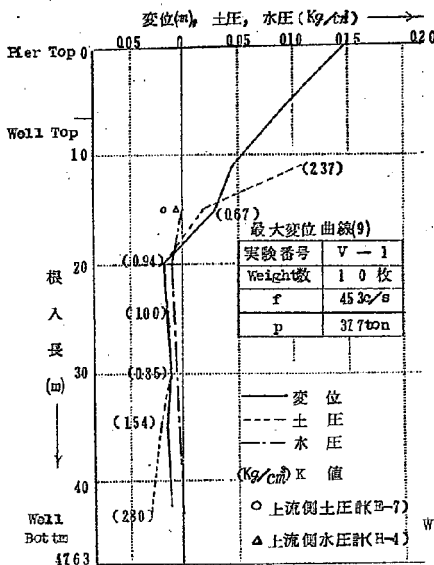
最大変位，土圧，水圧曲線及びK 値(1)～(3)

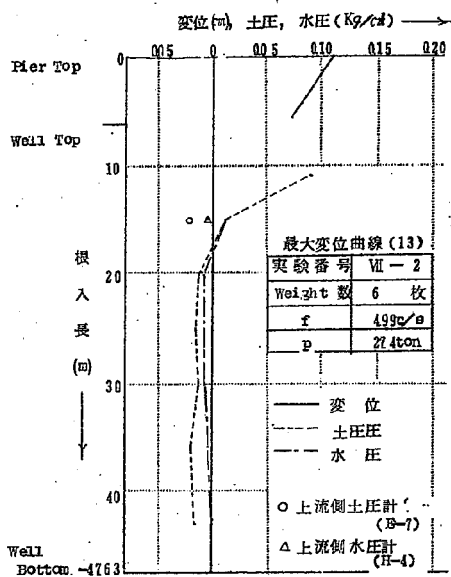
(1)～(11) 井筒内中空の場合

(12)～(13) 井筒内満水の場合





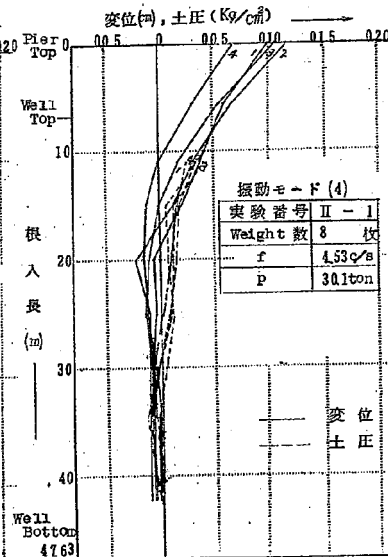
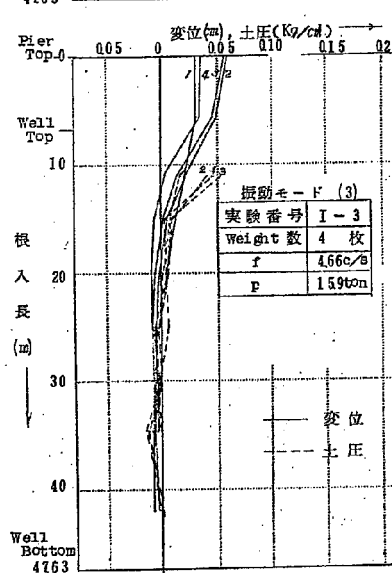
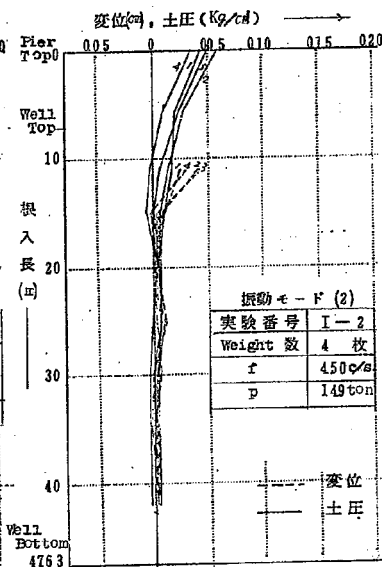
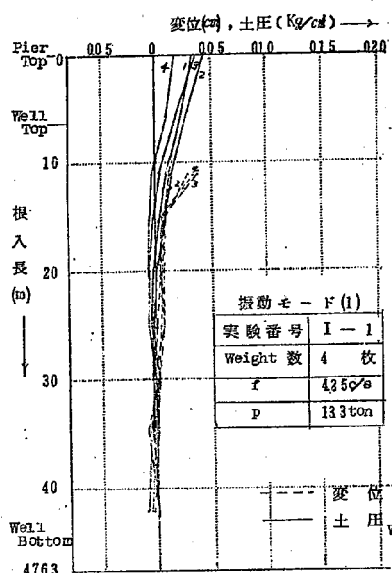


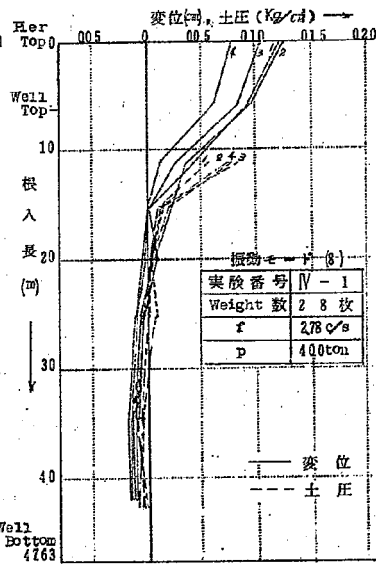
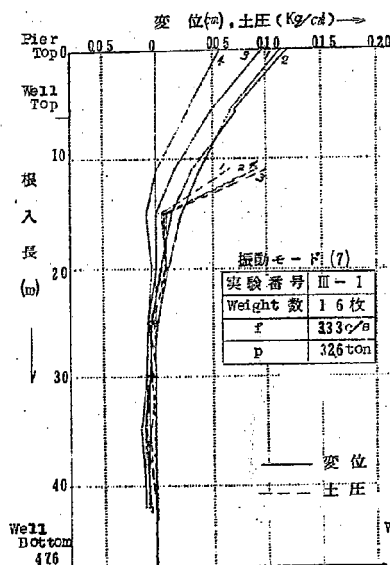
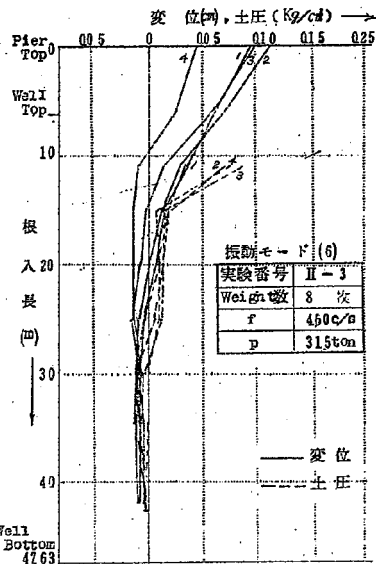
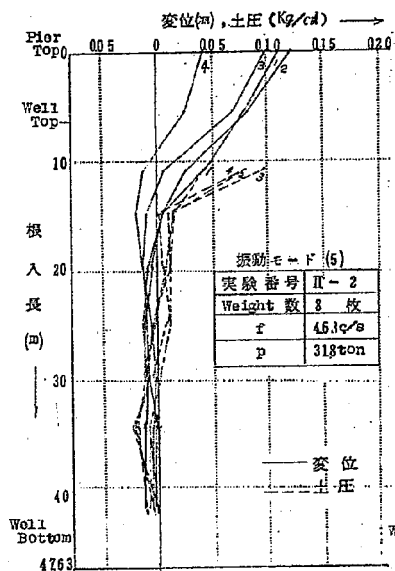


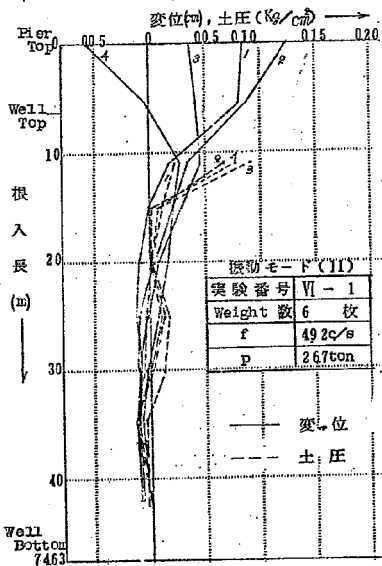
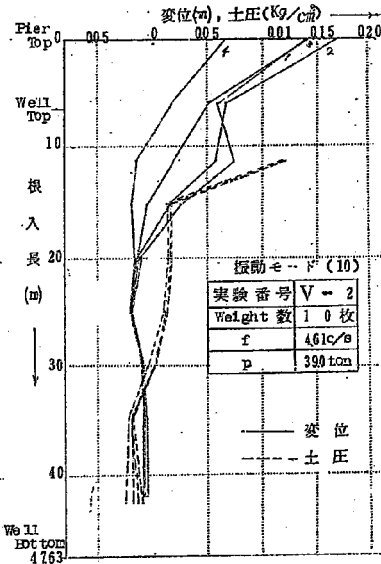
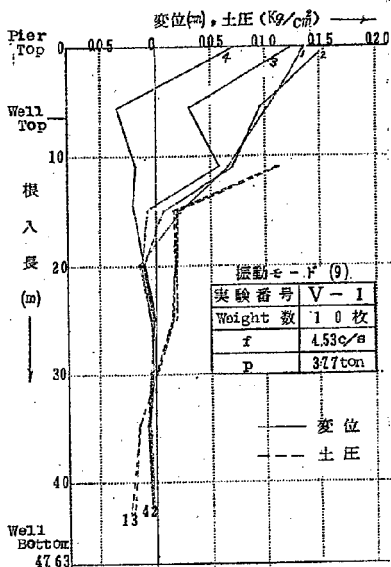
附図 - 3

振動モード及び動土圧分布(1)~(11)

図はすべて井筒内中空の場合







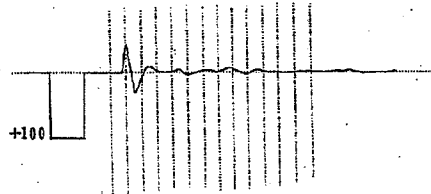
附圖 — 4

自由振動實驗記錄 (I) ~ (IV)

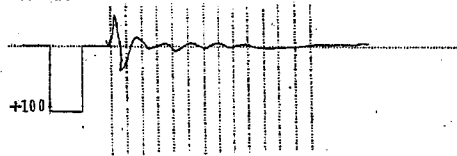
自由振動 I 引張荷重 50 t

自由振動 II ~ IV 引張荷重 100 t

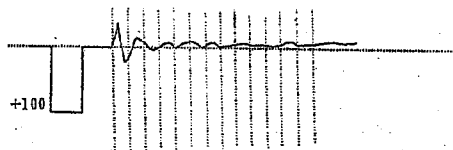
自由振動 I A-1 $p=50$ $t=0.1\text{sec}$, $T=538\text{c/s}$, $h=0.073$



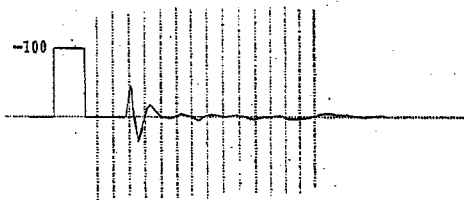
自由振動 I A-2 $p=50$ $t=0.1\text{sec}$, $T=541\text{c/s}$, $h=0.095$



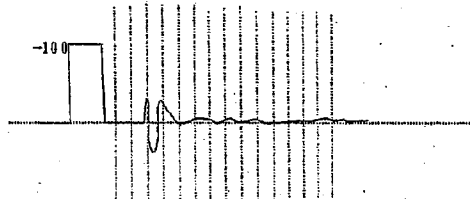
自由振動 I A-3 $p=50$ $t=0.1\text{sec}$, $T=556\text{c/s}$, $h=0.060$



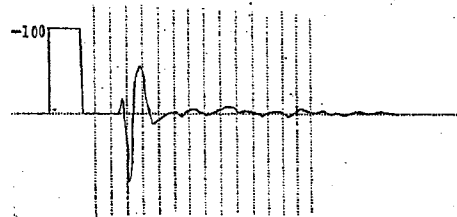
自由振動 I A-4 $p=50$ $t=0.1\text{sec}$, $T=513\text{c/s}$, $h=0.111$



自由振動 I A-5 $p=50$ $t=0.1\text{sec}$, $T=500\text{c/s}$, $h=0.099$

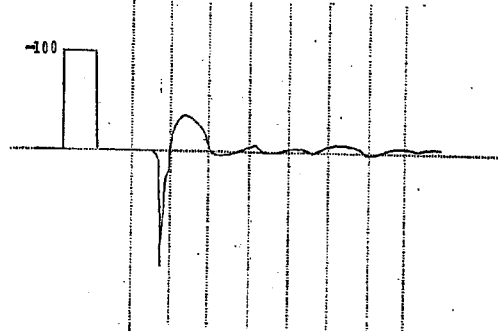
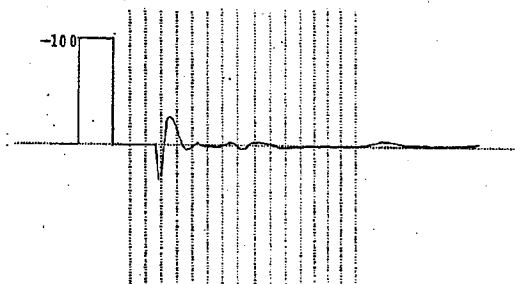


自由振動 I A-6 $p=50$ $t=0.1\text{sec}$, $T=545\text{c/s}$, $h=0.075$

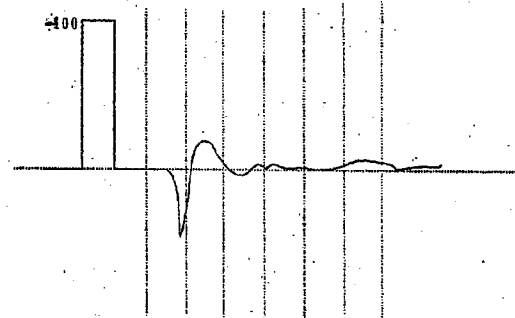


-0.6-

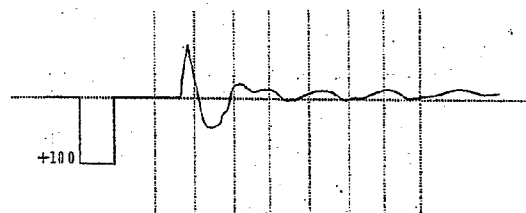
自由振動 I A-7 $p=50$ $t=0.1$ sec, $T=1.71$ 秒, $h=0.57$ 自由振動 I A-9 $p=50$ $t=0.1$ sec, $T=6.78$ 秒, $h=0.102$



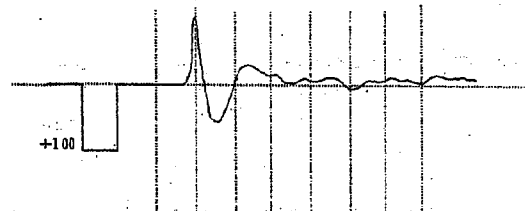
自由振動 I A-8 $p=50$ $t=0.1$ sec, $T=6.02$ 秒, $h=0.143$



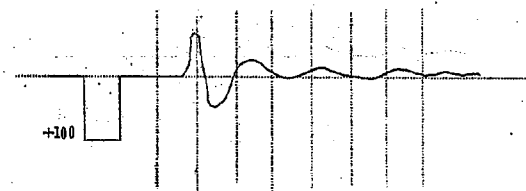
自由振動Ⅱ A-1 $p=100$ $t=0.1\text{sec}$, $T=5.52\text{c/s}$, $h=0.093$



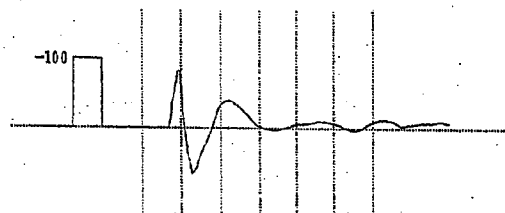
自由振動Ⅱ A-2 $p=100$ $t=0.1\text{sec}$, $T=5.58\text{c/s}$, $h=0.088$



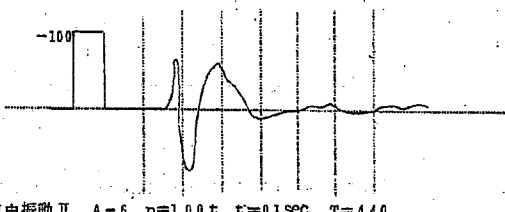
自由振動Ⅱ A-3 $p=100$ $t=0.1\text{sec}$, $T=4.00\text{c/s}$, $h=0.079$



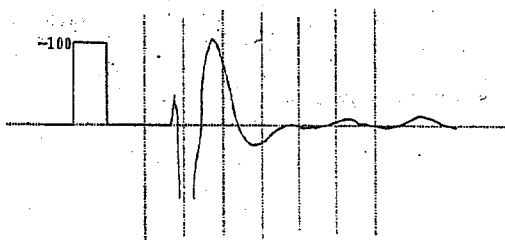
自由振動Ⅱ A-4 $p=100$ $t=0.1\text{sec}$, $T=4.70\text{c/s}$, $h=0.093$



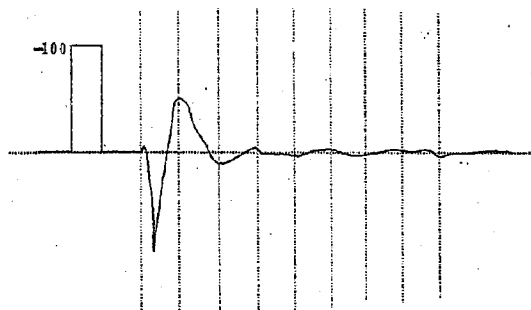
自由振動Ⅱ A-5 $p=100$ $t=0.1\text{sec}$, $T=5.71\text{c/s}$, $h=0.057$



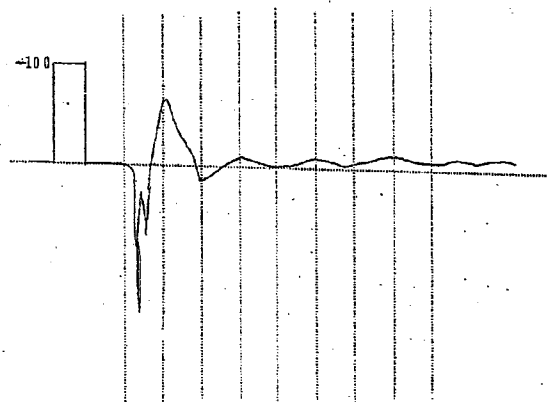
自由振動Ⅱ A-6 $p=100$ $t=0.1\text{sec}$, $T=4.40$



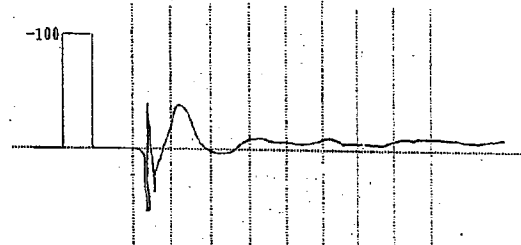
自由振動Ⅱ A-7 $p=100t$, $t=0.1\text{sec}$, $T=5.51\text{c/s}$, $h=0.117$



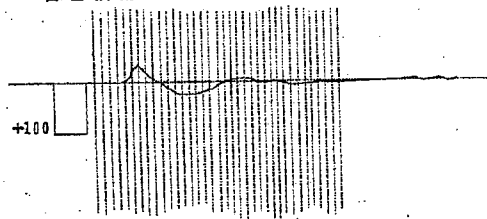
自由振動Ⅱ A-9 $p=100t$, $t=0.1\text{sec}$, $T=5.06\text{c/s}$, $h=0.090$



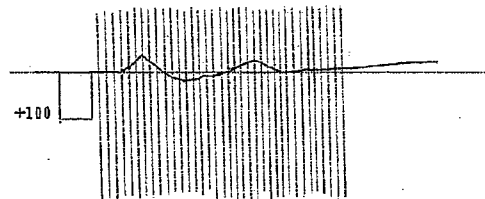
自由振動Ⅱ A-8 $p=100t$, $t=0.1\text{sec}$, $T=5.13\text{c/s}$, $h=0.092$



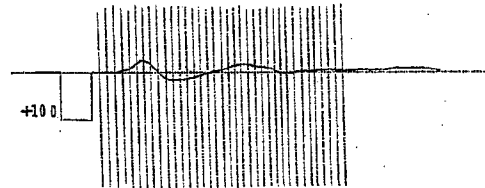
自由振動Ⅲ A-1 $p=100$ $t=0.02\text{sec}$



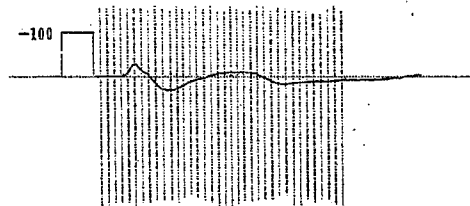
自由振動Ⅲ A-2 $p=100$ $t=0.02\text{sec}$



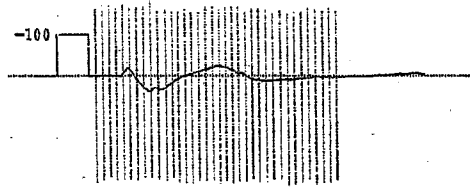
自由振動Ⅲ A-3 $p=100$ $t=0.02\text{sec}$



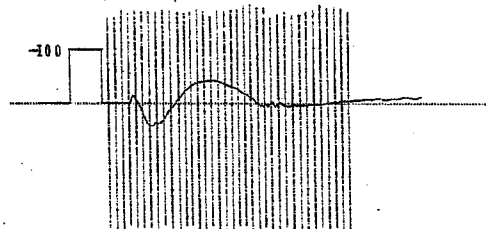
自由振動Ⅲ A-4 $p=100$ $t=0.02\text{sec}$



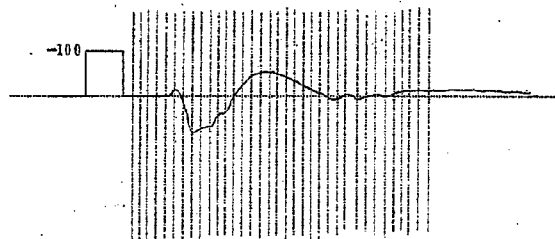
自由振動Ⅲ A-5 $p=100$ $t=0.02\text{sec}$



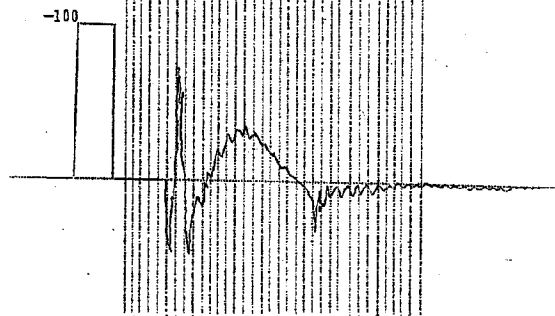
自由振動Ⅲ A-6 $p=100$ $t=0.02\text{sec}$



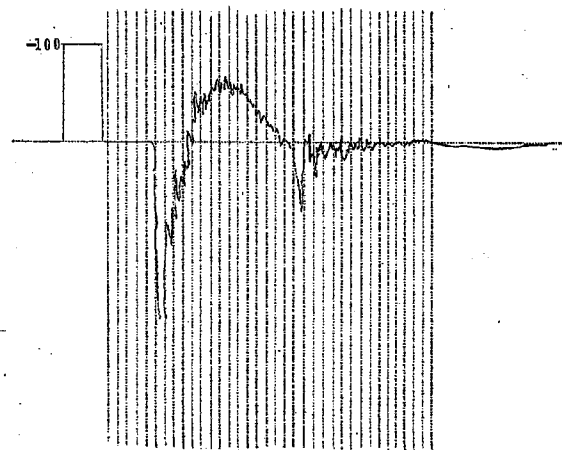
自由振動Ⅲ A-7 $p=100t$ $t=0.02\text{sec}$,



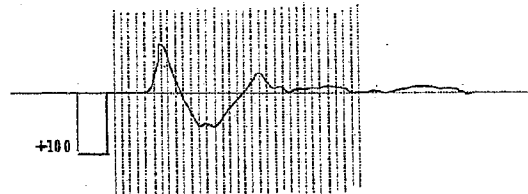
自由振動Ⅲ A-8 $p=100t$ $t=0.02\text{sec}$,



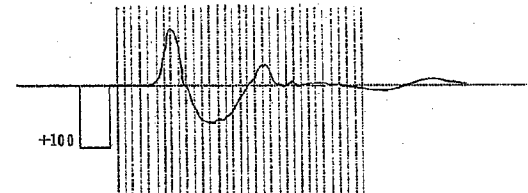
自由振動Ⅲ A-9 $p=100t$ $t=1.02\text{sec}$,



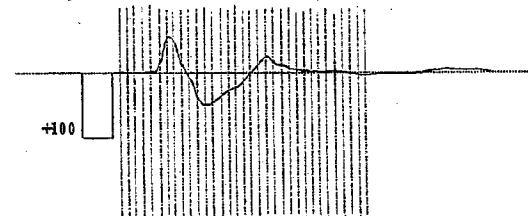
自由振動Ⅳ A-1 $p=100t$ $t=0.02\text{sec}$, $T=400\text{c/s}$, $h=0.075$



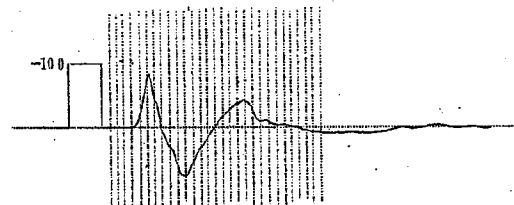
自由振動Ⅳ A-2 $p=100t$, $t=0.02\text{sec}$, $T=385\text{c/s}$, $h=0.094$



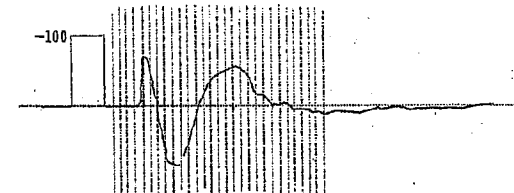
自由振動Ⅳ A-3 $p=100t$ $t=0.02\text{sec}$, $T=416\text{c/s}$, $h=0.101$



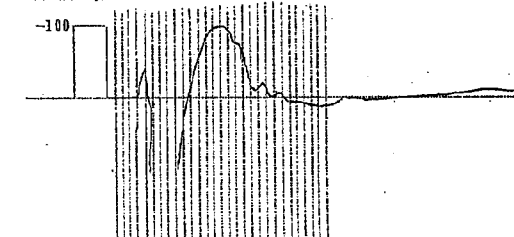
自由振動Ⅳ A-4 $p=100t$ $t=0.02\text{sec}$, $T=400\text{c/s}$, $h=0.090$



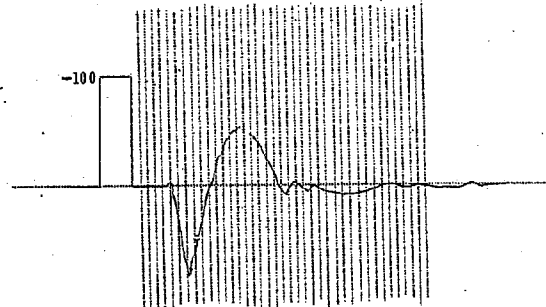
自由振動Ⅳ A-5 $p=100t$ $t=0.02\text{sec}$, $T=625\text{c/s}$, $h=0.156$



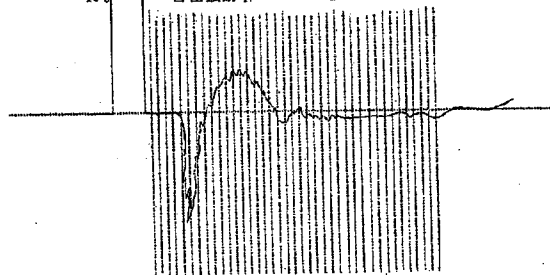
自由振動Ⅳ A-6 $p=100t$ $t=0.02\text{sec}$.



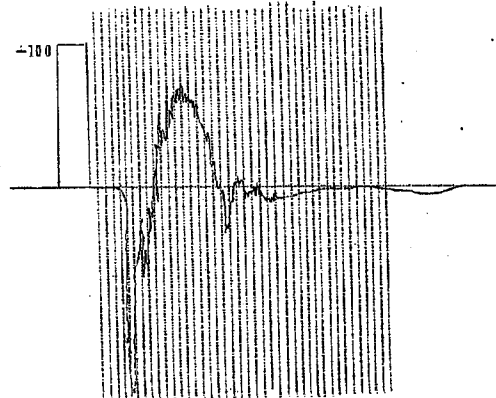
自由振動Ⅳ A-7 $p=100t$ $t=0.02\text{sec}$,



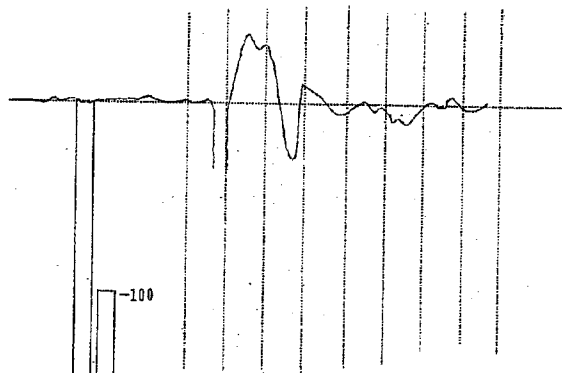
自由振動Ⅳ A-8 $p=100t$ $t=0.02\text{sec}$,



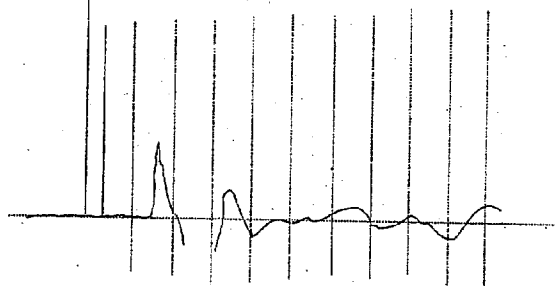
自由振動Ⅳ A-9 $p=100t$ $t=0.02\text{sec}$,



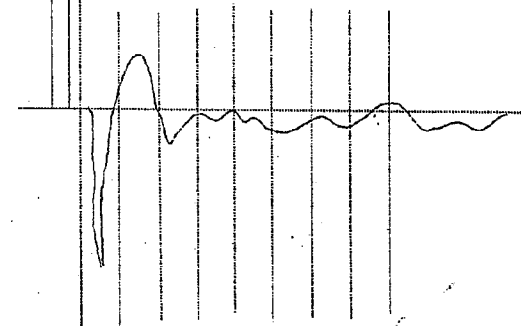
自由振動 I A-10 $t=0.1\text{sec.}$



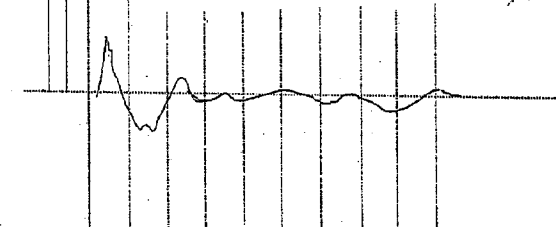
自由振動 I A-11 $t=0.1\text{sec.}$



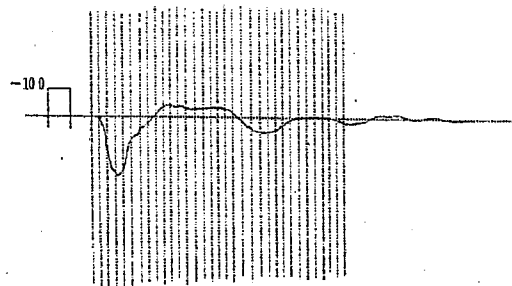
自由振動 II A-10 $t=0.1\text{sec.}$



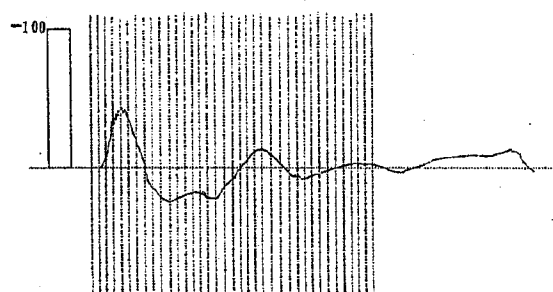
自由振動 III A-11 $t=0.1\text{sec.}$



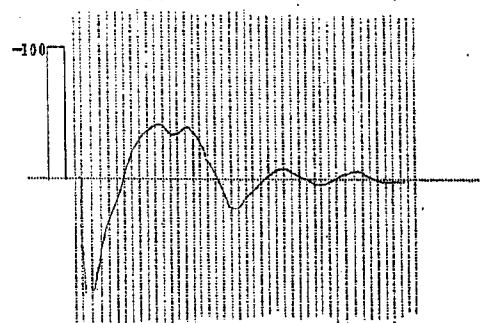
自由振動Ⅳ A-10 $t=0.02\text{sec.}$



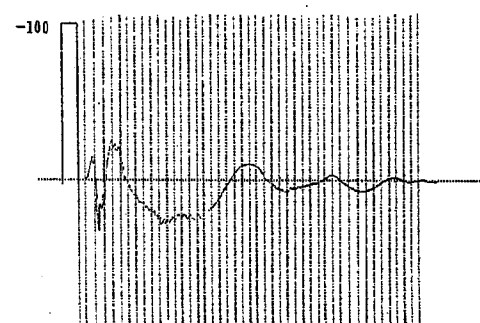
自由振動Ⅳ A-11 $t=0.02\text{sec.}$



自由振動Ⅲ A-10 $t=0.02\text{sec.}$



自由振動Ⅳ A-11 $t=0.02\text{sec.}$



附 図 - 5

自由振動実験による振動モードと動土圧分布

