



79
78

土木研究所資料
第793号

板島橋振動測定

昭和48年3月

建設省土木研究所
構造橋梁部 振動研究室

ま え が き

構造物の振動特性を知るには、従来より起振機を用いた振動実験が一般に実施されてきているが、振動実験は、新設構造物の竣工前でなければ今日の交通事情から事実上不可能であり、また多額の経費を要する。

本資料は振動実験の簡略化の一環として、愛媛県宇和島市にある板島橋で常時の微小な振動を測定することにより構造物の振動特性解析をおこなったものである。

板島橋は昭和40年に一般県道無月・宇和島線の来村川河口を渡る地点に架設されたもので上部工は単純支持、活荷重合成桁であり下部工は橋脚に井筒基礎、橋台には杭基礎が採用されている。また橋脚天端とこれより約400m離れた地盤上に強震計SMAC-B-2型が設置されておりその維持管理が良好であり、多数の強震記録が得られている。

なお、本研究資料は九州大学小坪清真教授に御指導をたまわり、四国地方建設局大州工事事務所、愛媛県土部道路課の御協力を得て、長大橋設計センターに委託して実施した成果をとりまとめたものである。

関係の各位に厚く御礼申し上げます。

	振動研究室室長	栗	林	栄	一
	振動研究室研究員	飯	田		裕
実施担当者	振動研究室技官	福	田	富	三

目 次

ま え が き

§ 1	測定現地概況	1
§ 2	測 定	7
2-1	測定条件	7
2-2	測定計器	7
2-3	測定方法	7
2-4	測定結果	9
§ 3	不規則振動の解析方法	19
§ 4	解 析	27
4-1	地盤強震計設置位置の動特性	31
4-2	板島橋地盤の動特性	37
4-3	橋脚の動特性	37
4-4	上部構造の動特性	45
4-5	速度記録と加速度記録との相関	51
4-6	強震記録と常時微動との相関	51
§ 5	結 論	54
§ 6	あ と が き	55
	写 真 集	57

§ 1. 測定現地概況

本測定の対象とした板島橋は愛媛県一般県道無月・宇和島線の来村川河口を渡る地点に昭和40年は架設された。本測定時期の交通量は46年7月の7～19時までの12時間観測では乗用車310台、貨物自動車353台、軽自動車663台、自動二輪車126台、自転車222台、荷馬車2台、歩行者216人である。

上部構造は一等橋で橋長125.16m、幅員6m、単純活荷重合成桁5連からなる。

下部構造では橋脚に井筒基礎が、また橋台に杭基礎が用いられている。

本橋の橋脚 P_1 上にSMAC-B2型強震計が設置されており、またこの橋脚から約400mの地点南高校校庭にも同種強震計がある。校庭の強震計は地盤の強震記録を得ることを目的に設置されたもので、4本のPC杭を基礎とするコンクリートブロック上におかれている。

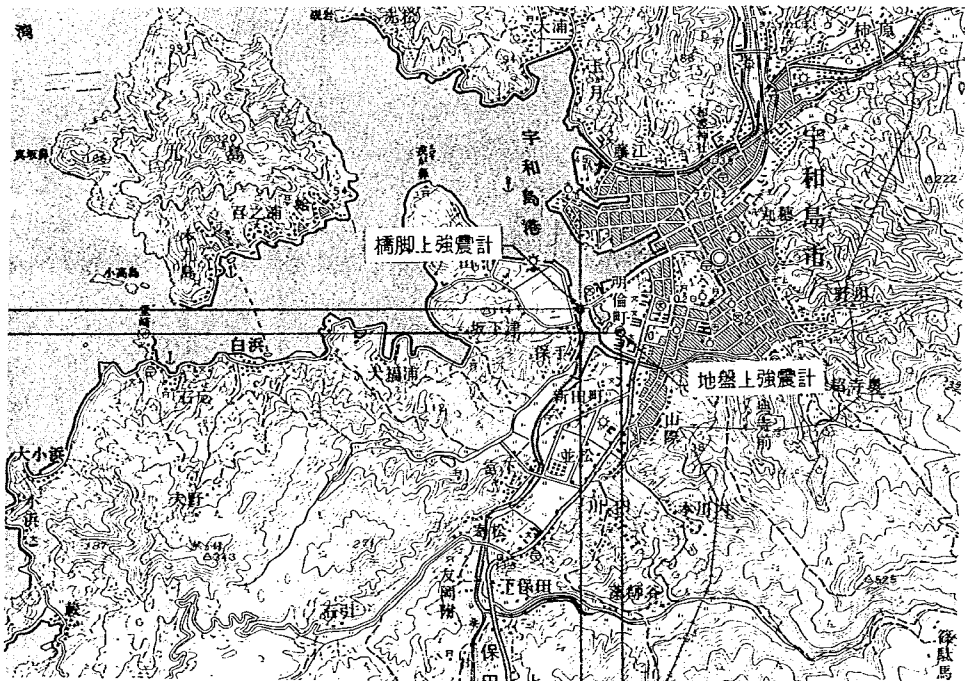


図-2.1 一般平面図

一般平面図を図-2.1に、橋梁一般図を図-2.2に示す。本橋はごくわずかな斜角を有しているが、それを無視してその横断面図を示すと図-2.3のごとくである。

橋脚の構造図を図-2.4に示す。なお橋脚 P_1 では強震計設置のために約0.6m³の鉄筋コンクリートと約390kgの鋼材が添加されている。

校庭の強震計設置台の概略図を図-2.5に示す。

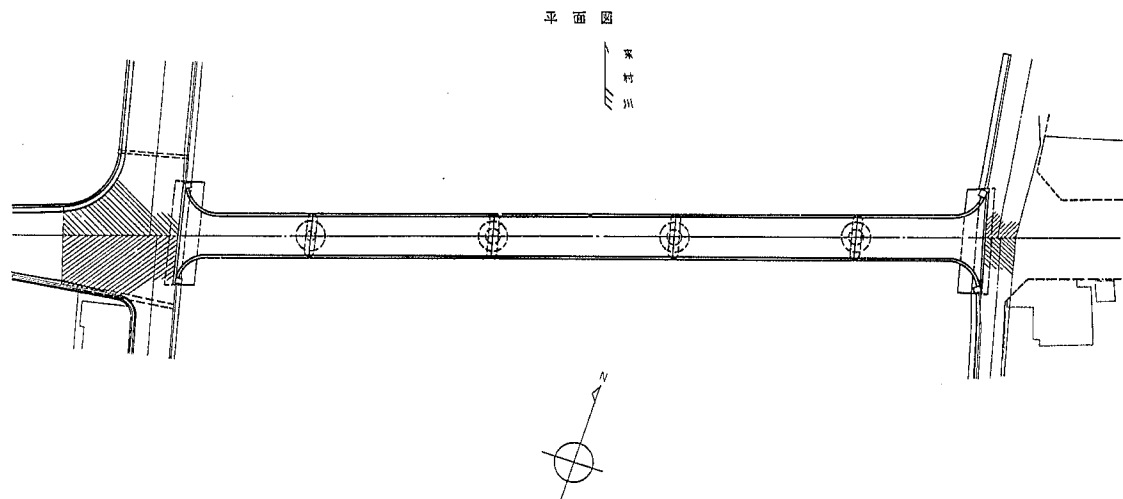
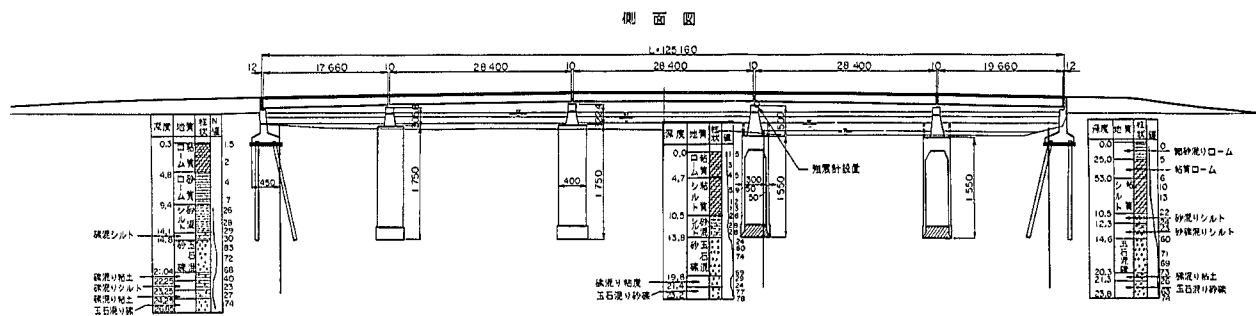


図-2.2 板 島 橋 一 般 図

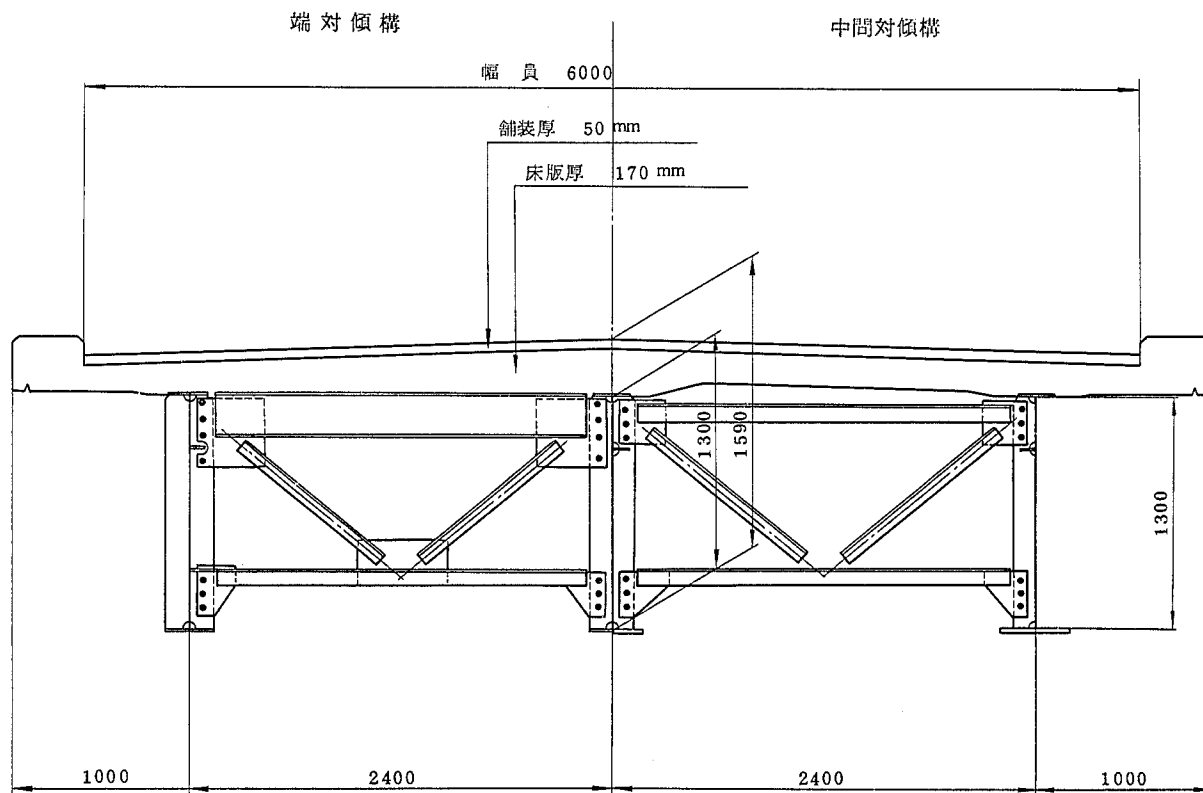


図-2.3 板島橋横断面図

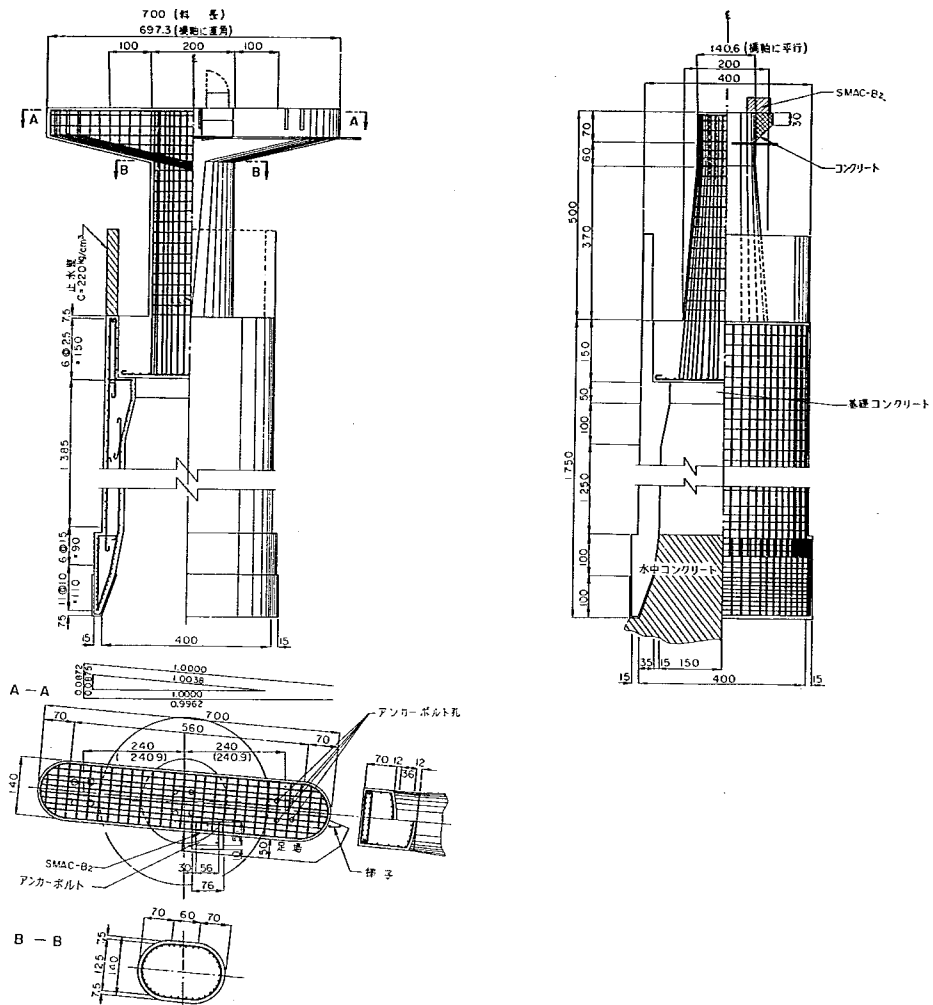


図-2.5 橋脚構造図

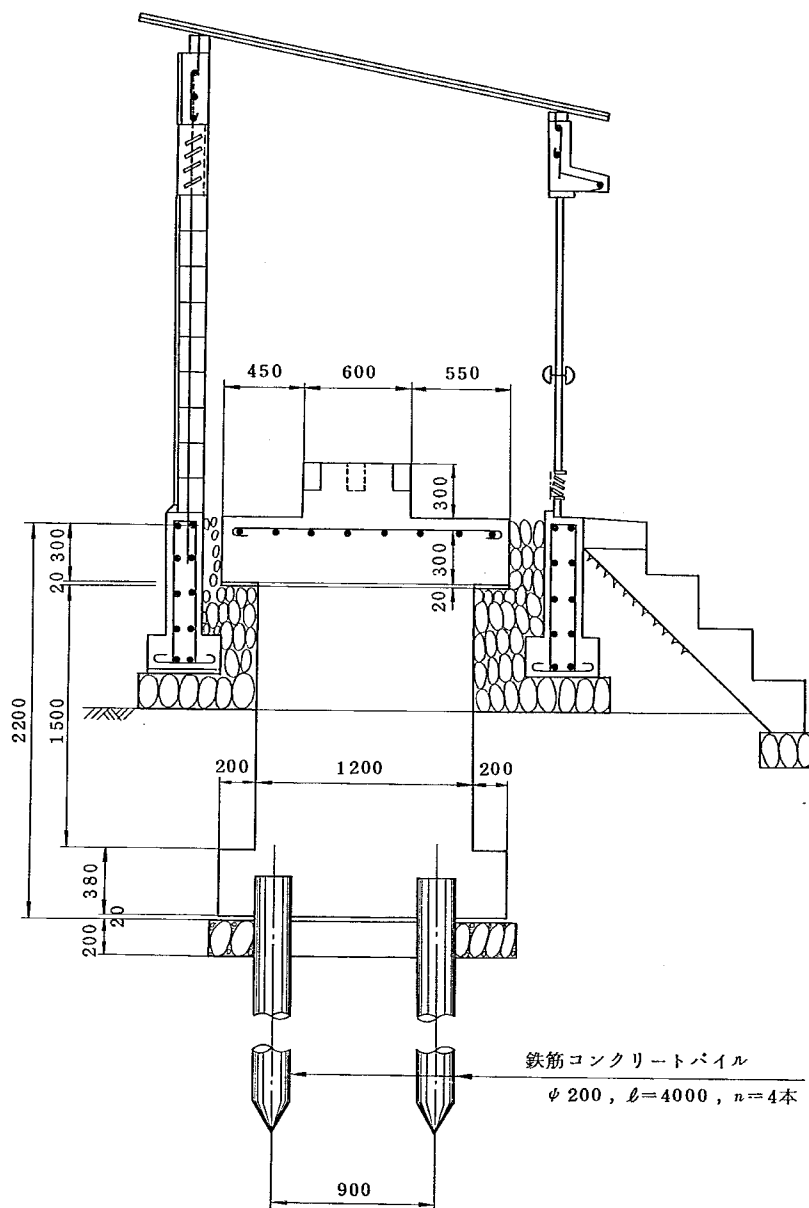


図-2.5 強震計設置台

橋脚の井筒基礎は図-2.2からわかるように N 値3~30程度の粘土質ローム、粘土質シルト、砂混りシルト各層からなる地盤に15m500の深さ根入れされており、 N 値50以上の玉石混り砂礫層に支持されている。

井筒まわりの地盤の変形抵抗係数に関しては、 N 値の分布のみが唯一の情報であるが、これから常時微動時の変形係数を妥当な値に推定することは困難であるので橋脚基礎の動特性を推算するための諸量の設定は断念した。

橋脚躯体は変断面円柱にT形梁が張出した形式をとっているが、躯体長が5mと短くほとんど剛体とみてよいと考えられる。

上部構造の剛性および死荷重強度を設計々算書から指定すると次のとおりである。

死 荷 重

舗 装	2.3	$\times 0.05 \times 6.0 = 0.690$	
床 版	0.425	$\times 6.8 = 0.890$	
ハ ン チ	0.029	$\times 3 = 0.087$	
鋼 桁	0.135	$\times 6.0 = 0.810$	
地覆、高欄	0.19	$\times 2 = 0.380$	
合 計 4.857 t/m			

断 面 積 (鋼換算)

床 版	$17\text{cm} \times 600\text{cm} \times 1/10 = 1020.0\text{cm}^2$	
桁	$3 \times 222.5\text{cm}^2 = 667.5$	
		1687.5 cm ²
		$\approx 1700\text{cm}^2$

断面2次モーメント (鉛直面内)

$$I_v = 2193908 + 2061451 \times 2 = 6316810\text{cm}^4$$

断面2次モーメント (水平面内)

$$I_h = \frac{1}{12} \times 17 \times 600^3 \times 1/10 + 222.5 \times 240^2 \times 2 = 56230000\text{cm}^4$$

長 さ 28.4m

一方、校庭の強震計設置位置の地盤については、柱状図は不明であるが、図-2.2の P_4 および A_6 地点での柱状図の比較からみて橋脚位置とはほぼ同じ条件にあるだろうと指定できる。しかし杭基礎のコンクリートブロックでどの程度地盤が改良されているかについては指定しにくい。

§ 2. 測 定

2-1 測定条件

表-2.1

	校 庭	橋 梁（１回目）	橋 梁 （２回目）
日 時	昭和47年11月6日12:00～13:00	18.00～19.30	23.30～1.00
天 候	雨	曇	晴
条 件	雨の中の測定で人影なく静寂な状況であり、風もほとんどなし。	交通量の少ない頃、数分間交通止めをして測定した。上り、下りとも10台程度であり、風はほとんどなし。 やや離れたところに生コン工場あり。	橋脚付近地盤の露出する干潮時（午前0時40分頃）の測定を目標としたため、この時刻強風であったが測定した。 気象台発表によると海上で20m/sec である。 交通量は全くなし。

2-2 測定計器

測定に使用した計器は次のとおりである。

表 2.2

計 器 名	記 事	使用台数
速度計（動コイル型）水平（V-261H）	明 石 製 作 所	4
〃 鉛直（V-261V）	〃	1
加速度計（動コイル型）	保坂振動機研究所	2
〃（m.T.D.H改造型）	〃	2
抵 抗 箱	〃	1
データレコーダー（R270）	T E A C	1
直流増巾器（6L5）	ソニーテクトロニクス	1
オシログラフ（直視式）	横 河 電 機	1

2-3 測定方法

速度計及び加速度計を使用し、常時微動の測定と付屬的に通行車による測定を行なった。

測定は昼間と深夜の干潮時に行ない、昼間は交通を一時的に止め1分～2分程度の測定を行ない深夜は測定準備が完了しだい測定した。又当橋から約400m程度離れた地点(南高校)に設置されている強震計の位置と付近の地盤での測定も行なった。

測定点は、校庭での強震計位置と付近地盤、当橋では橋脚上強震計位置（以下橋脚上と呼ぶ）、桁上 $l/2$ 点、干潮時の橋脚付近（橋脚から 5 m ～ 6 m）地盤、橋台付近地盤ケーソン上とした（概略図を図-2.2 に示す）。

測定は主として速度計で行ない、加速度計は付属として使用した。したがって速度計が5台であるため、すべての測定点の同時記録は取れないため後節で示すようなテストケースに別け測定を行なった。

測定方法はまず各測定点に速度計及び加速度（以下ピックと呼ぶ）とセットし、その入力と直流増巾器に入れる。ここで何倍かに増巾したものをデータレコーダーに記録する。この記録と同時にモニターとしてシンクロスコープ及びオシログラフに出力させる。又測定状態等も同時に録音し、後のデータ処理に役立たせる。

以上が現地での測定方法である。次にその処理は、記録された波形を一度ペン書きオシログラフに描き数値化（A-D変換器を使用）する波形を決める。選定した波形をA-D変換器に通し、数値化したデータを紙テープに出力する。A-D変換する時ローパスフィルターを使用する。さらにデータを解析プログラムにあわせて再編成し磁気テープに収録する。これを用いて解析をおこなう。フローチャートを図-2.6に示す。

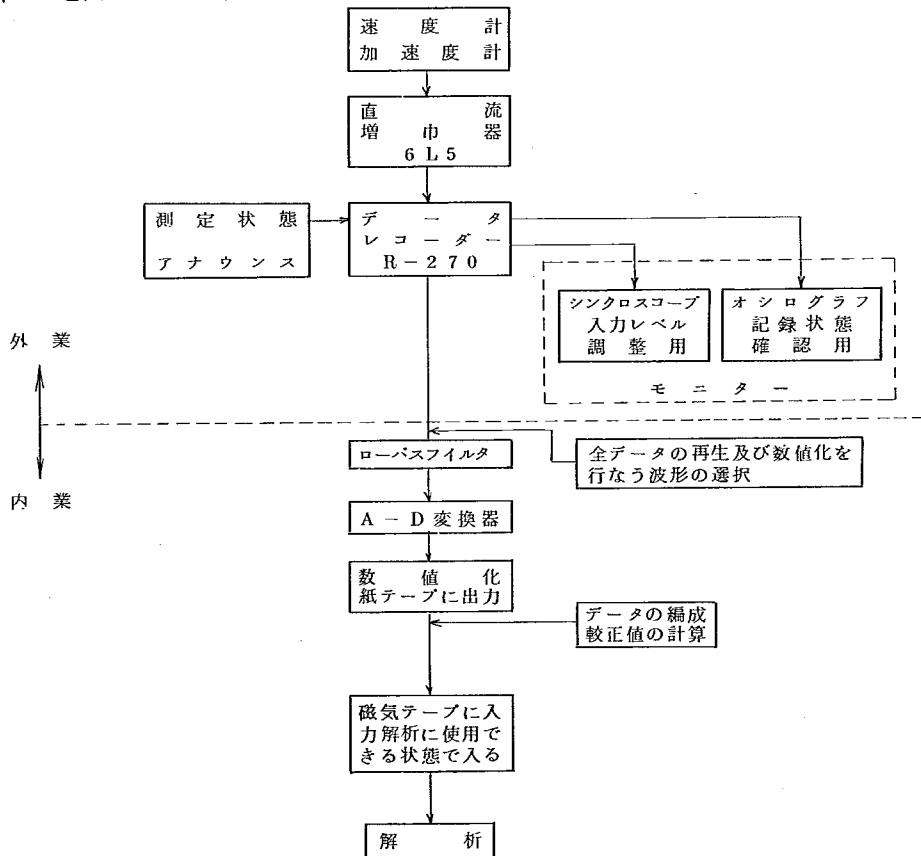


図-2.6 振動測定フローチャート

2-4 測定結果

測定項目を表-2.3に示す。この表は測定した中から選びだし、A-D変換したものである。ただしBC(テストケース)は速度と加速度の相関を観るために1chと7chについての同時記録分を数値化したものである。

表-2.3 測定一覧表

テストケース	チャンネル	測定成分	計器番号	測定点	計器の種類	GAIN	FLN	登録データナンバー	摘要
A-1 常時	1	橋軸方向	X-2-6	校庭地盤	Vel	100/1	F u l	1	
	2	橋軸直角方向	X-1-3	"	"	"	"	2	
	3	橋軸方向	Y-2-5	強震計位置	"	"	"	3	
	4	橋軸直角方向	Y-1-2	"	"	"	"	4	
	5	鉛直方向	Z-1-1	"	"	"	"	5	
	6	橋軸方向	634	"	Acc	"	"	6	
A-2 常時	1	橋軸方向	X-2-6	校庭地盤	Vel	"	"	7	
	2	橋軸直角方向	X-1-3	"	"	"	"	8	
	3	橋軸方向	Y-2-5	強震計位置	"	"	"	9	
	4	橋軸直角方向	Y-1-2	"	"	"	"	10	
	5	鉛直方向	Z-1-1	"	"	"	"	11	
	6	橋軸方向	634	"	Acc	"	"	12	
A-3 常時	1	橋軸方向	X-2-6	校庭地盤	Vel	"	"	13	
	2	橋軸直角方向	X-1-3	"	"	"	"	14	
	3	橋軸方向	Y-2-5	強震計位置	"	"	"	15	
	4	橋軸直角方向	Y-1-2	"	"	"	"	16	
	5	鉛直方向	Z-1-1	校庭地盤	"	"	"	17	
	6	橋軸方向	633	"	Acc	"	"	18	
A-4 常時	1	橋軸方向	Y-1-2	校庭地盤	Vel	"	"	19	
	2	橋軸直角方向	Y-2-3	"	"	"	"	20	
	3	橋軸方向	X-2-5	強震計位置	"	"	"	21	
	4	橋軸直角方向	X-1-2	"	"	"	"	22	
	5	鉛直方向	Z-1-1	校庭地盤	"	"	"	23	
	6	橋軸方向	633	"	Acc	"	"	24	
B-1 常時	1	橋軸方向	Y-1-2	橋脚上	Vel	30/1	"	25	
	2	橋軸直角方向	Y-2-5	"	"	"	"	26	
	3	橋軸方向	X-2-6	桁上	"	"	"	27	
	4	橋軸直角方向	X-1-3	"	"	"	"	28	
	5	鉛直方向	Z-1-1	"	"	10/1	"	29	
	6	橋軸方向	633	"	Acc	100/1	"	30	
	7	"	634	橋脚上	"	"	"		
B-2 通行車	1	橋軸方向	Y-1-2	"	Vel	30/100	"	31	
	2	橋軸直角方向	Y-2-5	"	"	"	"	32	
	3	橋軸方向	X-2-6	桁上	"	"	"	33	
	4	橋軸直角方向	X-1-3	"	"	"	"	34	
	5	鉛直方向	Z-1-1	"	"	10/100	"	35	
	6	橋軸方向	633	"	Acc	100/100	"	36	
	7	"	634	橋脚上	"	"	"		

テスト ケース	チャ ン ネ ル	測 定 成 分	計器番号	測 定 点	計器の 種 類	G A I N	F L N	登 録 デ ー タ ナンバ	摘 要
B-3 通行車	1	橋 軸 方 向	Y-1-2	橋 脚 上	Vel	3/1	Ful	37	
	2	橋 軸 直 角 方 向	Y-2-5	"	"	"	"	38	
	3	橋 軸 方 向	X-2-6	桁 上	"	"	"	39	
	4	橋 軸 直 角 方 向	X-1-3	"	"	"	"	40	
	5	鉛 直 方 向	Z-1-1	"	"	30/100	"	41	
	6	橋 軸 方 向	633	"	Acc	30/1	"	42	
	7	橋 軸 方 向	634	橋 脚 上	"	"	"		
B-4 常 時	1	橋 軸 方 向	Y-1-2	橋 脚 上	Vel	30/1	Ful	43	
	2	橋 軸 直 角 方 向	Y-2-5	"	"	"	"	44	
	3	橋 軸 方 向	X-2-6	桁 上	"	"	"	45	
	4	橋 軸 直 角 方 向	X-1-3	"	"	"	"	46	
	5	鉛 直 方 向	Z-1-1	橋 脚 上	"	"	"	47	
	6	橋 軸 方 向	633	桁 上	Acc	100/1	"	48	
	7	橋 軸 方 向	634	橋 脚 上	"	"	"		
B-5 通行車	1	橋 軸 方 向	Y-1-2	橋 脚 上	Vel	3/1	Ful	49	
	2	橋 軸 直 角 方 向	Y-2-5	"	"	"	"	50	
	3	橋 軸 方 向	X-2-6	桁 上	"	"	"	51	
	4	橋 軸 直 角 方 向	X-1-3	"	"	"	"	52	
	5	鉛 直 方 向	Z-1-1	橋 脚 上	"	"	"	53	
	6	橋 軸 方 向	633	桁 上	Acc	30/1	"	54	
	7	橋 軸 方 向	634	橋 脚 上	"	"	"		
B-6 常 時	1	橋 軸 方 向	Y-1-2	橋 脚 上	Vel	30/1	Ful	55	
	2	橋 軸 直 角 方 向	Y-2-5	"	"	"	"	56	
	3	橋 軸 方 向	X-2-6	桁 上	"	"	"	57	
	4	橋 軸 直 角 方 向	X-1-3	"	"	"	"	58	
	5	鉛 直 方 向	Z-1-1	橋 脚 上	"	100/1	"	59	
	6	橋 軸 方 向	633	桁 上	Acc	"	"	60	
	7	橋 軸 方 向	634	橋 脚 上	"	"	"		
B-7 常 時	1	橋 軸 方 向	Y-1-2	橋 脚 上	Vel	30/1	Ful	61	
	2	橋 軸 直 角 方 向	Y-2-5	"	"	"	"	62	
	3	橋 軸 方 向	X-2-6	橋台付近地盤	"	"	"	63	
	4	橋 軸 直 角 方 向	X-1-3	"	"	"	"	64	
	5	鉛 直 方 向	Z-1-1	橋 脚 上	"	100/1	"	65	
	6	橋 軸 方 向	633	桁 上	Acc	"	"	66	
	7	橋 軸 方 向	634	橋 脚 上	"	"	"		
B-8 常 時	1	橋 軸 方 向	Y-1-2	橋 脚 上	Vel	30/1	Ful	67	
	2	橋 軸 直 角 方 向	Y-2-5	"	"	"	"	68	
	3	橋 軸 方 向	X-2-6	橋台付近地盤	"	300/1	"	69	
	4	橋 軸 直 角 方 向	X-1-3	"	"	"	"	70	
	5	鉛 直 方 向	Z-1-1	橋台付近地盤	"	"	"	71	
	6	橋 軸 方 向	633	桁 上	Acc	"	"	72	
	7	橋 軸 方 向	634	橋 脚 上	"	"	"		
C-1 常 時	1	橋 軸 方 向	Y-2-5	橋台付近地盤	Vel	100/1	Ful	73	
	2	橋 軸 直 角 方 向	Y-1-2	"	"	"	"	74	
	3	橋 軸 方 向	X-2-6	橋台付近地盤	"	"	"	75	

テスト ケース	チャ ン ネ ル	測 定 成 分	計器番号	測 定 点	計器の 種 類	G A I N	F L N	登 録 デ ー タ ナ ン バ ー	摘 要
C-1 常 時	4	橋 軸 直 角 方 向	X-1-3	橋台付近地盤	Vel	100/1	Ful	76	
	5	鉛 直 方 向	Z-1-1	"	"	"	"	77	
	6	橋 軸 方 向	6 3 3	橋脚付近地盤	Acc	"	"	78	
	7	橋 軸 方 向	6 3 4	橋 脚 上	"	"	"		
C-2 常 時	1	橋 軸 方 向	Y-2-5	橋脚付近地盤	Vel	100/1	Ful	79	
	2	橋 軸 直 角 方 向	Y-1-2	"	"	"	"	80	
	3	橋 軸 方 向	X-1-3	橋 脚 上	"	"	"	81	
	4	橋 軸 直 角 方 向	Y-2-6	"	"	"	"	82	
	5	鉛 直 方 向	Z-1-1	"	"	300/1	"	83	
	6	橋 軸 方 向	6 3 3	橋脚付近地盤	Acc	100/1	"	84	
	7	橋 軸 方 向	6 3 4	橋 脚 上	"	"	"		
C-3 常 時	1	橋 軸 方 向	Y-2-5	橋脚付近地盤	Vel	30/1	Ful	85	
	2	橋 軸 直 角 方 向	Y-1-2	"	"	"	"	86	
	3	橋 軸 方 向	X-1-3	橋 脚 上	"	"	"	87	
	4	橋 軸 直 角 方 向	Y-2-6	"	"	"	"	88	
	5	鉛 直 方 向	Z-1-1	橋脚付近地盤	"	300/1	"	89	
	6	橋 軸 方 向	6 3 3	"	Acc	100/1	"	90	
	7	橋 軸 方 向	6 3 4	橋 脚 上	"	"	"		
C-4 常 時	1	橋 軸 方 向	Y-2-5	ケーソン上	Vel	100/1	Ful	91	
	2	橋 軸 直 角 方 向	Y-1-2	"	"	"	"	92	
	3	橋 軸 方 向	X-1-3	橋 脚 上	"	"	"	93	
	4	橋 軸 直 角 方 向	Y-2-6	"	"	"	"	94	
	5	鉛 直 方 向	Z-1-1	ケーソン上	"	300/1	"	95	
	6	橋 軸 方 向	6 3 3	橋 脚 上	Acc	100/1	"	96	
	7	橋 軸 方 向	6 3 4	ケーソン上	"	"	"		
C-5 常 時	1	橋 軸 方 向	Y-2-5	ケーソン上	Vel	100/1	Ful	97	
	2	橋 軸 直 角 方 向	Y-1-2	"	"	"	"	98	
	3	橋 軸 方 向	X-1-3	橋 脚 上	"	"	"	99	
	4	橋 軸 直 角 方 向	Y-2-6	"	"	"	"	100	
	5	鉛 直 方 向	Z-1-1	ケーソン上	"	300/1	"	101	
	6	橋 軸 方 向	6 3 3	橋 脚 上	Acc	100/1	"	102	
	7	橋 軸 方 向	6 3 4	ケーソン上	"	"	"		
BC-1 常 時	1	橋 軸 方 向	Y-1-2	橋 脚 上	Vel	30/1	"	103	(No. 25)
	7	"	6 3 4	"	Acc	100/1	"	104	
BC-2 常 時	1	橋 軸 方 向	Y-1-2	"	Vel	30/1	"	105	(No. 43)
	7	"	6 3 4	"	Acc	100/1	"	106	
BC-3 通行車	1	橋 軸 方 向	Y-1-2	"	Vel	3/1	"	107	(No. 37)
	7	"	6 3 4	"	Acc	30/1	"	108	

(1) 較正值の計算

6 L 5 直流増巾器では, 0.3 V の較正值を使用した。

a. 加 速 度 計

A-D変換値の較正值を y とし, 6 L 5 の GAIN の倍率を M とすると下図より, 較正值は次式となる。

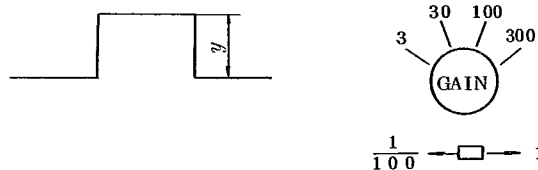


図-2.7

$$\text{較正值} = \frac{\frac{0.3}{M}}{y} = \frac{300}{My} \text{ gal}$$

この値に加速度計の較正係数を掛けて正しい較正值を求める。

1. 6 3 3 器加速度計 較正係数 = 0.379 gal / 1 mmV

$$\text{CAL}_{633} = \frac{300 \times 0.379}{My} \text{ gal}$$

2. 6 3 4 器加速度計 較正係数 = 0.417 gal / 1 mmV

$$\text{CAL}_{634} = \frac{300 \times 0.417}{My} \text{ gal}$$

b. 速 度 計 1 V 1 K I N

$$\text{CAL}_v = \frac{\frac{0.3}{M}}{y} = \frac{0.3}{My} \text{ K I N}$$

較正值表を表-2.4に示す。

$$\text{絶対量較正值} = \frac{1.1}{0.3} \times 10^{-6} \times \text{計算用較正值}$$

(2) 強震記録のデジタル化

強振記録を0.1秒間隔で読みとり, かつ波形のピークをも読みとり, それらの値をデジタル化した。その後今回測定した常時微動との相関を求めるためにこの波形を等間隔に修正した。

デジタル化に際しては, 土木研究所資料「地震記録のデジタル数値(その3)」(昭和44年5月)に基づいて行なった。

強震記録のデジタル数値を表-2.3, 表-2.4に示す。

(3) 常時微動測定波形のA-D変換器によるデジタル化

波形の一部分即ち深夜干潮時の常時微動測定での,

№85 (橋脚付近地盤), №87 (橋脚上)

№97 (ケーソン上), №99 (橋脚上)

について図化してみた。同時に原波形も図化してみたが、変量の大きさの統一が困難なため、A-D変換を行なったテストケースの部分を図化した。
これを図-2.8、図-2.9に示す。

表-2.4

データ No	計 較	算 正	用 値	絶 較	対 正	量 値	データ No	計 較	算 正	用 値	絶 較	対 正	量 値
1	0.1231	$\times 10^{-2}$		0.4514	$\times 10^{-8}$		41	0.3389	$\times 10^0$		1.2426	$\times 10^{-6}$	
2	0.0986	"		0.3615	"		42	0.001341	$\times 10^3$		0.4917	$\times 10^{-5}$	
3	0.0997	"		0.3656	"		43	0.004131	$\times 10^0$		0.1515	$\times 10^{-7}$	
4	0.1045	"		0.3832	"		44	0.003127	"		0.1147	"	
5	0.1094	"		0.4011	"		45	0.002925	"		0.1072	"	
6	0.4376	$\times 10^0$		0.1605	$\times 10^{-5}$		46	0.003498	"		0.1283	"	
7	0.1231	$\times 10^{-2}$		0.4514	$\times 10^{-8}$		47	0.003389	"		0.1243	"	
8	0.0986	"		0.3615	"		48	0.4024	"		0.1475	$\times 10^{-5}$	
9	0.0997	"		0.3656	"		49	0.04131	"		0.1515	$\times 10^{-6}$	
10	0.1045	"		0.3832	"		50	0.03127	"		0.1147	"	
11	0.1094	"		0.4011	"		51	0.02925	"		0.1072	"	
12	0.4376	$\times 10^0$		0.1605	$\times 10^{-5}$		52	0.03498	"		0.1283	"	
13	0.1231	$\times 10^{-2}$		0.4517	$\times 10^{-8}$		53	0.03389	"		0.1243	"	
14	0.0986	"		0.3615	"		54	0.00134	$\times 10^3$		0.4913	$\times 10^{-5}$	
15	0.0997	"		0.3656	"		55	0.4131	$\times 10^{-2}$		0.1515	$\times 10^{-7}$	
16	0.1045	"		0.3832	"		56	0.3127	"		0.1147	"	
17	0.1094	"		0.4011	"		57	0.2950	"		0.1082	"	
18	0.4203	$\times 10^0$		0.1541	$\times 10^{-5}$		58	0.3498	"		0.1283	"	
19	0.1231	$\times 10^{-2}$		0.4517	$\times 10^{-8}$		59	0.1017	"		0.3729	$\times 10^{-8}$	
20	0.0986	"		0.3615	"		60	0.4024	$\times 10^0$		0.1475	$\times 10^{-5}$	
21	0.0997	"		0.3656	"		61	0.4524	$\times 10^{-2}$		0.1659	$\times 10^{-7}$	
22	0.1045	"		0.3832	"		62	0.4855	"		0.1780	"	
23	0.1094	"		0.4011	"		63	0.04421	"		0.1621	$\times 10^{-8}$	
24	0.4203	$\times 10^0$		0.1541	$\times 10^{-5}$		64	0.04372	"		0.1603	"	
25	0.4131	$\times 10^{-2}$		0.1515	$\times 10^{-7}$		65	0.04933	"		0.1808	"	
26	0.3127	"		0.1147	"		66	0.6625	$\times 10^0$		0.2429	$\times 10^{-5}$	
27	0.2925	"		0.1072	"		67	0.4524	$\times 10^{-2}$		0.1659	$\times 10^{-7}$	
28	0.3498	"		0.1283	"		68	0.4855	"		0.1780	"	
29	1.0166	"		0.3727	"		69	0.04421	"		0.1544	$\times 10^{-8}$	
30	0.4024	$\times 10^0$		0.1475	$\times 10^{-5}$		70	0.04372	"		0.1603	"	
31	0.4131	"		0.1515	"		71	0.04933	"		0.1809	"	
32	0.3127	"		0.1147	"		72	0.6625	$\times 10^0$		0.2429	$\times 10^{-5}$	
33	0.2925	"		0.1072	"		73	0.13675	$\times 10^{-2}$		0.5014	$\times 10^{-8}$	
34	0.3498	"		0.1283	"		74	0.1458	"		0.5346	"	
35	1.0166	"		0.3728	"		75	0.13338	"		0.4891	"	
36	0.0402	$\times 10^3$		0.1474	$\times 10^{-3}$		76	0.13095	"		0.4801	"	
37	0.04131	$\times 10^0$		0.1516	$\times 10^{-6}$		77	0.14731	"		0.5401	"	
38	0.03127	"		0.1147	"		78	0.66344	$\times 10^0$		0.2433	$\times 10^{-5}$	
39	0.02925	"		0.1072	"		79	0.13675	$\times 10^{-2}$		0.5014	$\times 10^{-8}$	
40	0.03498	"		0.1283	"		80	0.1458	"		0.5346	"	

データ №	計 較	算 正	用 値	絶 較	対 正	量 値	データ №	計 較	算 正	用 値	絶 較	対 正	量 値
81	0.13338	$\times 10^{-2}$		0.4891	$\times 10^{-8}$		95	0.7365	$\times 10^{-2}$		0.2700	$\times 10^{-7}$	
82	0.13095	"		0.4801	"		96	0.99516	$\times 10^0$		0.3649	$\times 10^{-5}$	
83	0.04910	"		0.1800	"		97	0.20512	$\times 10^{-2}$		0.7521	$\times 10^{-8}$	
84	0.66344	$\times 10^0$		0.2433	$\times 10^{-5}$		98	0.21873	"		0.8020	"	
85	0.6837	$\times 10^{-2}$		0.2507	$\times 10^{-7}$		99	0.20007	"		0.7336	"	
86	0.72909	"		0.2673	"		100	0.19643	"		0.7202	"	
87	0.6669	"		0.2445	"		101	0.7365	"		0.2700	$\times 10^{-7}$	
88	0.65476	"		0.2401	"		102	0.99516	$\times 10^0$		0.3649	$\times 10^{-5}$	
89	0.07365	"		0.2700	$\times 10^{-8}$		103	0.82627	$\times 10^{-2}$		0.3030	$\times 10^{-7}$	
90	0.99516	$\times 10^0$		0.3649	$\times 10^{-5}$		104	0.88548	$\times 10^0$		0.3247	$\times 10^{-5}$	
91	0.20512	$\times 10^{-2}$		0.7521	$\times 10^{-8}$		105	0.82627	$\times 10^{-2}$		0.3030	$\times 10^{-7}$	
92	0.21873	"		0.8020	"		106	0.88548	$\times 10^0$		0.3247	$\times 10^{-5}$	
93	0.20007	"		0.7336	"		107	0.82627	$\times 10^{-1}$		0.3030	$\times 10^{-6}$	
94	0.19643	"		0.7202	"		108	0.29516	$\times 10^1$		0.1082	$\times 10^{-4}$	

解析には計算用較正值を用い、強震との相関には絶対量較正值を使用する。

表 - 2.5 強 震 記 録

地震発生 年月日時分	震 央			M マグニ チュー ド	深 さ (km)	観測点 付近の 震 度	地 盤				橋 脚			
	震央地名	東経	北緯				データタイトル	L g	V r	T r	データタイトル	L g	V r	T r
43・4・1 09:42	日向灘	132° 32'	32° 17'	7.5	30	V 延岡	308-GL-2	○ (202)	○ (203)	○ (201)	308-P-2	○ (212)	○ (213)	○ (211)
43・4・1 16:13	"	132° 23'	32° 18'	6.3	-	IV 延岡	308-GL-3	○ (205)	○ (206)	○ (204)	308-P-3	○ (215)	○ (216)	○ (214)
43・8・6 01:17	愛媛県 西部	132° 23'	33° 18'	6.6	40	V 宇和島	308-GL-4	○ (208)		○ (207)	308-P-4	○ (218)	○ (219)	○ (217)
43・8・6 13:21	"	132° 27'	33° 21'	5.3	40	III 宇和島	308-GL-8	○ (210)		○ (209)				

注) : ○印の強震記録についてデジタル化
()内数字はデータ整理番号

表-2.6 強震記録整理表

データ №	タ イ ト ル	地震発生 年月日時分	震 央			M マグニ チュード	深 さ (km)	観測点 付近の 震 度	観測点	成分	経 緯 時 間 (sec)	Max gal (gal)	Max.gal の時間 (sec)	卓越 周期
			震央地名	東 経	北 緯									
201	308-GL-2 Tr	43・4・1 09:42	日向灘	132° 32'	32° 17'	7.5	30	V	地 盤	Tr	47.98	189.17	17.22	
202	308-GL-2 Lg	"	"	"	"	"	"	"	"	Lg	"	176.40	17.02	
203	308-GL-2 Vr	"	"	"	"	"	"	"	"	Vr	30.98	46.26	12.20	
204	308-GL-3 Tr	43・4・1 16:13	"	132° 32'	32° 17'	6.3	-	IV	"	Tr	14.98	43.90	3.08	
205	308-GL-3 Lg	"	"	"	"	"	-	"	"	Lg	11.98	36.02	3.20	
206	308-GL-3 Vr	"	"	"	"	"	-	"	"	Vr	8.98	13.65	4.36	
207	308-GL-4 Tr	43・8・6 01:17	愛媛県西部	132° 32'	33° 18'	6.6	40	V	"	Tr	35.98	354.03	8.86	
208	308-GL-4 Lg	"	"	"	"	"	"	"	"	Lg	"	445.30	6.96	
209	308-GL-8 Tr	43・8・6 13:21	"	132° 27'	33° 21'	5.3	40	IV	"	Tr	16.96	167.58	3.84	
210	308-GL-8 Lg	"	"	"	"	"	"	"	"	Lg	15.98	219.81	3.00	
211	308-P-2 Tr	43・4・1 09:42	日向灘	132° 32'	32° 17'	7.5	30	V	橋脚上	Tr	46.98	319.58	13.42	
212	308-P-2 Lg	"	"	"	"	"	"	"	"	Lg	"	217.82	13.52	
213	308-P-2 Vr	"	"	"	"	"	"	"	"	Vr	27.98	53.86	12.30	
214	308-P-3 Tr	43・4・1 16:13	"	132° 23'	32° 18'	6.3	-	IV	"	Tr	13.98	59.00	0.22	
215	308-P-3 Lg	"	"	"	"	"	-	"	"	Lg	8.98	33.56	1.80	
216	308-P-3 Vr	"	"	"	"	"	-	"	"	Vr	3.20	11.80	0.14	
217	308-P-4 Tr	43・8・6 01:17	愛媛県西部	132° 23'	33° 18'	6.6	40	V	"	Tr	34.98	277.66	5.52	
218	308-P-4 Lg	"	"	"	"	"	"	"	"	Lg	32.98	195.20	6.22	
219	308-P-4 Vr	"	"	"	"	"	"	"	"	Vr	15.98	105.23	8.02	

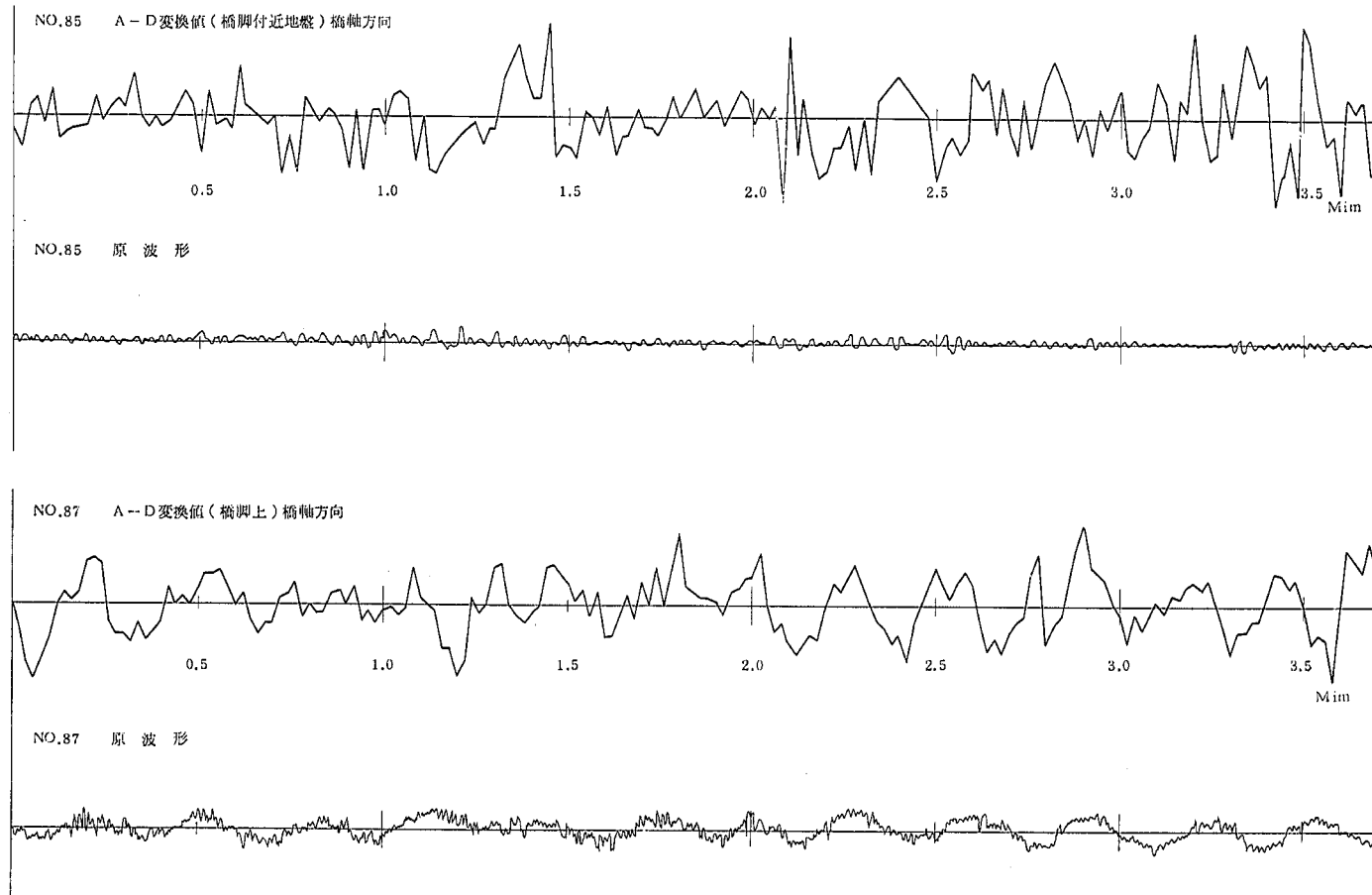


図-2.8 深夜干潮時常時微動

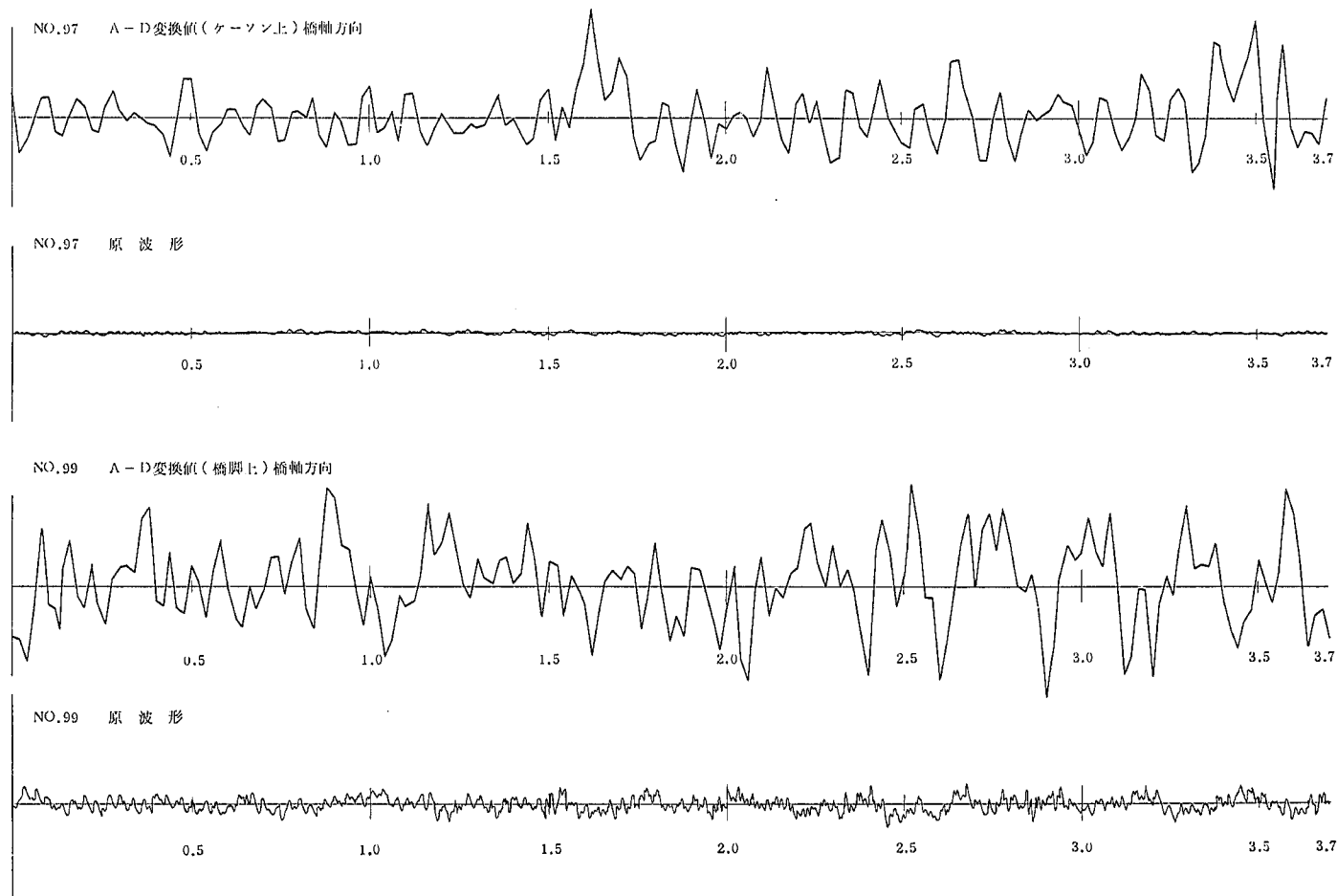


図-2.9 深夜干潮時常時微動

§ 3. 不規則振動の解析方法

定常な不規則振動状態にある 2 ケ以上の変量

$$X_i(t), i = 1, 2, 3 \dots \dots \dots$$

を考える。助変数 t は規則的に変化する量であるが、その関数である X_i は、その不規則性のためにその確率的な量しか規定できないとする。しかし定常過程であるためにその確率量は時刻 t に依存しない。

変量 X_i は t の連続関数であるが、いまこれらの測定記録から時刻 t に関して Δt 間隔で数値化したデータを電子計算機で処理する。

$$X_p^i \quad p = 0, 1, 2 \dots \dots n, i = 1, 2, 3 \dots \dots \dots$$

$$X_p^i = X_i(p \Delta t)$$

以下に数値解析の方法について述べる。

【1】 自己相関関数 R_i

$$R_i(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T X_i(t) X_i(t + \tau) dt \dots \dots \dots (1)$$

$$\tau = q \Delta t \quad q = 0, 1, 2 \dots \dots \dots m$$

$$R_{iq} = R_{Xi}(q \Delta t) = \frac{1}{n-q} \sum_{p=0}^{n-q} X_p^i X_{p+q}^i \dots \dots \dots (a)$$

自己相関関数 $R(\tau)$ は現象 X が周期性をどの程度にもっているかを示すものである。

$\tau = 0$ に対する $R(0)$ は定義からも明らかなように X の 2 乗平均であり、したがって X の標準偏差 σ の 2 乗 σ^2 を意味する。

通常 R は $\tau = 0$ で、正の最大値をとり、その点で勾配は 0 となる。また R は τ に関して偶関数である。

【2】 パワースペクトル

$$S_i(\omega) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} R_i(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau \dots \dots \dots (2)$$

$$\omega = \frac{p\pi}{m \Delta t} \quad p = 0, 1 \dots \dots \dots m$$

$$S_{ip} = S_i\left(\frac{p\pi}{m \Delta t}\right) = 4 \Delta t \sum_{q=0}^m \varepsilon_q R_{iq} \cos \frac{pq}{m} \pi \dots \dots \dots (b)$$

$$\varepsilon_q = 1, 0 < q < m$$

$$= \frac{1}{2}, q = 0 \text{ or } m$$

通常 S_{ip} は測定および数値化にともなう誤差によって、若干みだれた結果を与えるので、次の方法で平滑化 (smoothing) を行なう。

$$\begin{aligned} S_{i0} &\equiv 0.54 S_{i0} + 0.46 S_{i1} \\ S_{ip} &\equiv 0.23 S_{ip-1} + 0.54 S_{ip} + 0.23 S_{ip+1} \quad \dots\dots\dots (c) \\ S_{im} &\equiv 0.46 S_{im-i} + 0.54 S_{im} \end{aligned}$$

パワースペクトル S_i は定義から明らかなように自己相関関数 R のフーリエ変換であり、これは周波数 ω (or 振動数 p) をもつ変動エネルギー密度を意味する。

また S_i は現象 X_i の時間 T でのフーリエ変換を $A_i(\omega)$ とするとき次式でも表現できる。

$$S_i(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{2}{T} |A_i(\omega)|^2 \right] \quad \dots\dots\dots (3)$$

現象 X_i のフーリエ変換 $A_i(\omega)$ は X_i が定常現象であるとき $T \rightarrow \infty$ に対して $|A_i(\omega)| \rightarrow \infty$ と発散するので上式の変換を行なうものである。

【3】 相互相関関数 R_{ij}

$$R_{ij}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T X_i(t) X_j(t+\tau) dt \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\tau = p \Delta t \quad p = 0, 1, 2 \dots\dots m$$

$$R_{ijp} = R_{ij}(p \Delta t) = \frac{1}{n-p} \sum_{q=0}^{n-p} X_{iq} X_{jq+p} \quad \dots\dots\dots (d)$$

相互相関関数 R_{ij} は現象 X_i と現象 X_j との相関関係を表わすものである。

X_i を入力、 X_o を出力として

$$X_o(t) = \int_0^t W(\tau) X_i(t-\tau) d\tau \quad \dots\dots\dots (5)$$

の関係があるとする (W : インパルスに対する応答、重み関数) とき、 R_{io} は次のように表わせる。

$$\begin{aligned} R_{io}(\tau) &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T X_i(t) X_o(t+\tau) dt \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T X_i(t) \left[\int_0^{t+\tau} W(\tau_1) X_i(t+\tau-\tau_1) d\tau_1 \right] dt \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^T W(\tau_1) \left[\frac{1}{T} \int_0^T X_i(t) X_i(t+\tau-\tau_1) dt \right] d\tau_1 \\ &= \int_0^\infty W(\tau_1) R_i(\tau-\tau_1) d\tau_1 \quad \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

すなわち相互相関 R_{io} は重み関数 W と入力 X_i の自己相関 R_i とのコンボリューションで表わされる。

なお、現象 X_o が複数の入力 $X_i (i=1, 2, 3 \dots)$ の結果であるとき上式の関係は書直される。

$$X_o(t) = \sum_i \int_0^t W_i(\tau) X_i(t-\tau) d\tau \dots\dots\dots (7)$$

$$\begin{aligned} R_{jo}(\tau) &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T X_j(t) X_o(t+\tau) dt \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T X_j(t) \left[\sum_i \int_0^{t+\tau} W_i(\tau_1) X_i(t+\tau-\tau_1) d\tau_1 \right] dt \\ &= \sum_i \lim_{T \rightarrow \infty} \int_0^T W_i(\tau_1) \left[\frac{1}{T} \int_0^T X_j(t) X_i(t+\tau-\tau_1) dt \right] d\tau_1 \\ &= \int_0^\infty W_i(\tau_1) R_i(\tau-\tau_1) d\tau_1 + \sum_{i \neq j} \int_0^\infty W_i(\tau_1) R_{ji}(\tau-\tau_1) d\tau_1 \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

もし入力 X_i が互に独立であれば入力間の相互相関 $R_{ij} \equiv 0$ ($i \neq j$) であるので(8)式は(6)式に一致する。

【4】 クロススペクトル S_{ij}

$$S_{ij}(\omega) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} R_{ij}(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau \dots\dots\dots (9)$$

$$\omega = \frac{p\pi}{m\Delta t} \quad p = 0, 1, 2, \dots\dots\dots m$$

$$S_{ijp} = S_{ij} \left(\frac{p\pi}{m\Delta t} \right) = C_{ijp} + i Q_{ijp} \dots\dots\dots (e)$$

$$C_{ijp} = \Delta t \sum_{q=0}^m \varepsilon_q (R_{ijq} + R_{jiq}) \cos \frac{pq\pi}{m}$$

$$Q_{ijp} = \Delta t \sum_{q=0}^m \varepsilon_q (R_{ijq} - R_{jiq}) \sin \frac{pq\pi}{m}$$

$$\varepsilon_q = 1, \quad 0 < q < m$$

$$= \frac{1}{2}, \quad q = 0 \text{ or } m$$

クロススペクトル S_{ij} は複素数であり、したがって実数部 C_{ij} と虚数部 Q_{ij} とが得られる。

S_{ij} と S_{ji} との間には、次の関係がある。

$$S_{ij} = S_{ji}^*$$

$$C_{ij} = C_{ji} \dots\dots\dots (10)$$

$$Q_{ij} = -Q_{ji}$$

なお、 C_{ij} 、 Q_{ij} も S_i におけると同様平滑化する。

【5】伝達関数 H_{io} (Receptance)

$$H_{io}(\omega) = \frac{S_{io}(\omega)}{S_i(\omega)} \dots\dots\dots (11)$$

$$= A_{io}(\omega) e^{i\theta_{io}(\omega)}$$

$$A_{io}(\omega) = |H_{io}(\omega)| = \sqrt{C_{io}^2 + Q_{io}^2} / S_i \dots\dots\dots (12)$$

$$\theta_{io}(\omega) = \text{avg } H_{io}(\omega) = \tan^{-1} \frac{Q_{io}(\omega)}{C_{io}(\omega)}$$

$$\omega = \frac{p\pi}{m\Delta t} \quad p = 0, 1, 2, \dots\dots m$$

$$H_{iop} = \frac{S_{iop}}{S_{ip}} = A_{iop} e^{i\theta_{iop}}$$

$$A_{iop} = \sqrt{C_{iop}^2 + Q_{iop}^2} / S_{ip} \dots\dots\dots (f)$$

$$\theta_{iop} = \tan^{-1} \frac{Q_{iop}}{C_{iop}}$$

伝達関数 $H_{io}(\omega)$ は、入力 X_i がどのような形で出力 X_o に伝えられるかを表わすもので A_{io} がいわゆる動倍率、 θ_{io} が位相差に相当する。

もし入力と出力との関係が(5)式で表わせば、クロススペクトルの定義式(9)式から次の関係が得られる。

$$\begin{aligned} S_{io}(\omega) &= 2 \int_{-\infty}^{\infty} R_{io}(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau \\ &= 2 \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_0^{\infty} W(\tau_1) R_i(\tau - \tau_1) \right] e^{-i\omega\tau} d\tau \\ &= 2 \int_0^{\infty} W(\tau_1) \left[\int_{-\infty}^{\infty} R_i(\tau - \tau_1) e^{-i\omega\tau} d\tau \right] d\tau_1 \\ &= 2 \int_0^{\infty} W(\tau_1) e^{-i\omega\tau_1} \left[\int_{-\infty}^{\infty} R_i(\tau - \tau_1) e^{-i\omega(\tau - \tau_1)} d\tau \right] d\tau_1 \\ &= 2 \int_0^{\infty} W(\tau_1) e^{-i\omega\tau_1} d\tau_1 \int_{-\infty}^{\infty} R_i(\tau - \tau_1) e^{-i\omega(\tau - \tau_1)} d(\tau - \tau_1) \\ &= S_i \int_0^{\infty} W(\tau_1) e^{-i\omega\tau_1} d\tau_1 \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

(13)式と伝達関数の定義式(11)とを比較して

$$H_{io}(\omega) = \int_0^{\infty} W(\tau_1) e^{-i\omega\tau_1} d\tau_1 \equiv \bar{W}(\omega) \dots\dots\dots (14)$$

すなわち伝達関数 H_{io} は重み関数 W のフーリエ変換である。また (14) 式が伝達関数の本来の定義でもある。

(5) 式が成立つとき伝達関数はパワースペクトル S_i, S_o の比からも求められる。すなわち

$$\begin{aligned}
 R_o(\tau) &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T X_o(t) X_o(t+\tau) dt \\
 X_o(t) &= \int_0^t W(\tau_1) X_i(t-\tau_1) d\tau_1 \\
 X_o(t+\tau) &= \int_0^{t+\tau} W(\tau_2) X_i(t+\tau-\tau_2) d\tau_2 \\
 \therefore R_o(\tau) &= \int_0^\infty W(\tau_1) \int_0^\infty W(\tau_2) R_i(\tau_1-\tau_2+\tau) d\tau_2 d\tau_1 \\
 S_o(\omega) &= 2 \int_{-\infty}^\infty R_o(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau \\
 &= 2 \int_{-\infty}^\infty \left[\int_0^\infty W(\tau_1) \int_0^\infty W(\tau_2) R_i(\tau_1-\tau_2+\tau) d\tau_2 d\tau_1 \right] e^{-i\omega\tau} d\tau \\
 &= 2 \int_0^\infty W(\tau_1) e^{-i\omega\tau_1} d\tau_1 \int_0^\infty W(\tau_2) e^{-i\omega\tau_2} d\tau_2 \\
 &\quad \int_{-\infty}^\infty R_i(\tau_1-\tau_2+\tau) e^{-i\omega(\tau_1-\tau_2+\tau)} d(\tau_1-\tau_2+\tau) \\
 &= H_{io}^*(\omega) \cdot H_{io}(\omega) S_i(\omega) \\
 &= |H_{io}(\omega)|^2 S_i(\omega) \\
 \therefore |H_{io}(\omega)| &= A_{io}(\omega) = \sqrt{\frac{S_o}{S_i}} \dots\dots\dots (15)
 \end{aligned}$$

すなわち出力 X_o が唯一の入力 X_i により支配されているとき伝達関数の絶対値はパワースペクトル比の平方根に等しい。またこのとき仮りに X_o から X_i への伝達関数を考えれば、

$$|H_{oi}(\omega)| = A_{oi}(\omega) = \sqrt{\frac{S_i}{S_o}} = \frac{1}{|H_{io}(\omega)|} = \frac{1}{|W(\omega)|} \dots\dots\dots (16)$$

すなわち、逆への伝達関数は逆数となる。

しかし、3ヶ以上の現象が影響をおよぼしあっているときの関係式は別に考えられなければならない。いま多数の現象の内 X_1 および X_2 が次式で定義される場合を考える。

$$X_1(t) = \int_0^t W_{21}(\tau) X_2(t-\tau) d\tau + \sum_i \int_0^t W_{i1}(\tau) X_i(t-\tau) d\tau \dots\dots\dots (17)$$

$$X_2(t) = \int_0^t W_{12}(\tau) X_1(t-\tau) d\tau + \sum_i \int_0^t W_{i2}(\tau) X_i(t-\tau) d\tau$$

ここで W_{ij} は入力 X_i が直接的に X_j に寄与する重み関数であり、他の現象 X_k を介して X_j に寄与する成分は含まないものとする。このとき相互相関 R_{12}, R_{21} は(8)式に準じて次式で得られる。

$$R_{12}(\tau) = \int_0^\infty W_{12}(\tau-\tau_1) d\tau_1 + \sum_i \int_0^\infty W_{i2}(\tau_1) R_{1i}(\tau-\tau_1) d\tau_1 \dots \dots \dots (18)$$

$$R_{21}(\tau) = \int_0^\infty W_{21}(\tau_1) R_2(\tau-\tau_1) d\tau_1 + \sum_i \int_0^\infty W_{i1}(\tau_1) R_{2i}(\tau-\tau_1) d\tau_1$$

またクロススペクトル S_{12}, S_{21} は(13)式に準じて

$$S_{12}(\omega) = S_i \int_0^\infty W_{12}(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau + \sum_i S_{1i} \int_0^\infty W_{i2}(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau$$

$$S_{21}(\omega) = S_2 \int_0^\infty W_{21}(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau + \sum_i S_{2i} \int_0^\infty W_{i1}(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau$$

または

$$S_{12}(\omega) = S_1(\omega) \bar{W}_{12}(\omega) + \sum_i S_{1i}(\omega) \bar{W}_{i2}(\omega) \dots \dots \dots (19)$$

$$S_{21}(\omega) = S_2(\omega) \bar{W}_{21}(\omega) + \sum_i S_{2i}(\omega) \bar{W}_{i1}(\omega)$$

したがって、伝達関数 H_{12}, H_{21} は定義式(11)から

$$H_{12}(\omega) = \bar{W}_{12}(\omega) + \sum_i H_{1i}(\omega) \bar{W}_{i2}(\omega) \dots \dots \dots (20)$$

$$H_{21}(\omega) = \bar{W}_{21}(\omega) + \sum_i H_{2i}(\omega) \bar{W}_{i1}(\omega)$$

(20)式から $\bar{W}$ を狭義の伝達関数、 H を広義の伝達関数ということもできよう。

またこの場合、パワースペクトルの比の平方根と H の絶対値は一般に次式になりたつ。

$$|H_{ij}| \leq \sqrt{\frac{S_j}{S_i}} \dots \dots \dots (21)$$

【6】 コヒーレンス CH_{ij} (coherence)

$$CH_{ij}(\omega) = \frac{S_{ij}}{S_j} \cdot \frac{S_{ji}}{S_i} = \frac{S_{ij} S_{ji}^*}{S_i S_j} = H_{ij} \cdot H_{ji} \dots \dots \dots (22)$$

$$\omega = \frac{p\pi}{m\Delta t}$$

$$CH_{ijp} = A_{ijp} \cdot A_{jip} \dots \dots \dots (g)$$

コヒーレンス CH_{ij} は現象 X_i と現象 X_j との関連性の度合いを示すもので、もし X_i のみが X_0 に関係をもつのであれば、次式になりたつ。

$$CH_{io} = \sqrt{\frac{S_o}{S_i}} \sqrt{\frac{S_i}{S_o}} = 1 \quad \dots\dots\dots (23)$$

一般に多現象間の関連性は次式で表わされる。

$$CH_{ij} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (24)$$

【7】数値解析に当たっての特記事項

(1) 数値化の時間間隔 Δt について

変量 X_i を Δt 間隔で数値化した場合、自己相関関数 R_i は(a)式からわかるように

$$\tau = q \Delta t, \quad q = 0, 1, 2, \dots\dots m \quad \therefore \Delta \tau = \Delta t$$

すなわち、 R_i も Δt 間隔の値が得られる。相互相関関数についても同様である。ラグ τ の最大値は q の最大値 m に支配される。

$$\tau_{\max} = m \Delta t \quad (= 100 \times 0.02 = 2 \text{ sec})$$

一方パワースペクトルの助変数は(b)式から

$$\omega = \frac{p\pi}{m\Delta t} \quad p = 0, 1, 2, \dots\dots m$$

$$\Delta f = \frac{\Delta \omega}{2\pi} = \frac{1}{2m\Delta t} = \frac{1}{2 \times 100 \times 0.02} = 0.25 \text{ Hz}$$

$$f_{\max} = \frac{1}{2\Delta t} = \frac{1}{2 \times 0.02} = 25 \text{ Hz}$$

となる。周波数間隔はラグの最大値 m を大きくすることによって小さくできるが、最大の周波数は Δt に支配される。

すなわち、数値解析によってスペクトルを計算できる最短周期は Δt の2倍である。換言すれば半波長が Δt 以下の波は検出できない。

(2) 確率量の微分について

この測定では主として速度計によって現象を記録したが、強震計は加速度計であり、また一般に地震入力としては加速度記録が用いられる。そこで速度記録の解析結果と加速度記録の解析結果との関係を求めておく。

そのためにまず、自己相関関数の微分を求めてみる。

$$R_x(\tau) = E [X(t) \cdot X(t+\tau)]$$

$$\begin{aligned} \frac{dR_x}{d\tau} &= E [X(t) \cdot \dot{X}(t+\tau)] \\ &= E [X(t-\tau) \cdot \dot{X}(t)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2 R_x}{d\tau^2} &= -E [\dot{X}(t-\tau) \cdot \dot{X}(t)] \\ &= -E [\dot{X}(t) \cdot \dot{X}(t+\tau)] = -R_{\dot{x}} \quad \dots\dots\dots (25) \end{aligned}$$

すなわち、変量 X の微係数の相関は、変量 X の相関関数の2回微分に逆付号をつけたものに等しい。

また、パワースペクトル S_x と自己相関 R_x との関係が(2)式のフーリエ変換で与えられることから

$$S_x(i\omega) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau$$

$$R_x(\tau) = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_x(i\omega) e^{i\omega\tau} d\omega \quad \dots\dots\dots (26)$$

(26)式を τ で微分する。

$$\frac{d^2 R_x}{d\tau^2} = -\frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 S_x(i\omega) e^{i\omega\tau} d\omega$$

$$\therefore \omega^2 S_x(i\omega) = -2 \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d^2 R_x}{d\tau^2} e^{-i\omega\tau} d\tau = 2 \int_{-\infty}^{\infty} \dot{R}_x e^{-i\omega\tau} d\tau$$

$$\therefore S_{\dot{x}}(\omega) = \omega^2 S_x(\omega) \quad \dots\dots\dots (27)$$

$$\sqrt{\frac{S_{\dot{x}}}{S_x}} = |H_{x\dot{x}}| = \omega \quad \dots\dots\dots (28)$$

すなわち、速度から加速度への伝達関数は ω となる。

クロススペクトル、相互相関関数などについても同様の関係が得られる。

また変量 X, Y について

$$\sqrt{\frac{S_x}{S_y}} = \sqrt{\frac{S_{\dot{x}}}{S_{\dot{y}}}} = \sqrt{\frac{S_{\ddot{x}}}{S_{\ddot{y}}}} = \dots\dots\dots (29)$$

$$H_{xy} = \bar{H}_{\dot{x}\dot{y}} = H_{\ddot{x}\ddot{y}} = \dots\dots\dots$$

などもなりたつ。

§ 4. 解 析

測定して得られた速度および加速度の微動記録を § 3 に示した数値解法で解析した。

解析の結果図— 4.1, 図— 4.2 に例示したような一連の確率が得られる。図— 4.1 は地盤と橋脚との相関をみるために行なった例であるが、この場合入力データは、

地盤；橋脚付近地盤橋軸方向速度記録〔添字 g 〕

データ № 85, テストケース C—3 (§ 2 参照)

橋脚；橋脚天端 橋軸方向速度記録〔添字 p 〕

データ № 87, テストケース C—3

の同時記録データである。厳密にはデータに $1.1/0.3 \times 10^{-6}$ を乗じて用いなければならない。

(§ 2 参照) が以下では原則としてこの補正係数を省略したデータの解析結果を示す。

図— 4.1 での各ステップは以下のごとくである。

- ① 地盤自己相関 R_g : № 85 のデータ X_g を(a)式で処理したもの、時間差(ラグ)を横軸にとり示した。

計算はラグ $\tau = 2.0 \text{ sec}$ まで行なったが図には $\tau = 1.2 \text{ sec}$ まで示した。ラグの間隔 $\Delta \tau = 0.02 \text{ sec}$ である。

- ② 地盤パワースペクトル S_g : ①に得られた R_g に(b)(c)式をほどこして得られた平滑化されたパワースペクトルである。横軸は振動数 $Hz (= \text{cycle/sec})$ である。これも 25 Hz までの計算結果の内 15 Hz までを示した。内隔は 0.25 Hz である。

- ③ 橋脚自己相関 R_p : № 87 のデータについて①におけると同様の処理をほどこしたものである。

- ④ 橋脚パワースペクトル S_p : ②に準じたものである。

- ⑤ 相互相関 R_{gp}, R_{pg} : № 85 のデータ X_g と № 87 のデータ X_p とを用いて(d)式の計算を行なった結果である。

R_{gp} は $X_g(t)$ と $X_p(t+\tau)$ との相関であり、 R_{pg} は $X_g(t+\tau)$ と $X_p(t)$ (または $X_g(t)$ と $X_p(t-\tau)$) との相関である。

- ⑥ クロススペクトル S_{gp} : ⑤で得られた R_{pg} に(e)式をほどこし得られた複素数 S_{gp} の実数部 C_{gp} を実線で、また虚数部 Q_{gp} を破線で示したものである。

- ⑦ コヒーレンス CH_{gp} : ⑥の S_{gp} と ② S_g , ④ S_p とを用いて(g)式の計算を行ないその結果を示した。

- ⑧ スペクトル比 $\sqrt{S_p/S_g}$: 地盤のデータ X_g が橋脚に対する唯一の入力であると考えた場合、出力である橋脚のデータ X_p と入力 X_g とを用いて、それぞれのパワースペクトル ② S_g , ④ S_p の比の平方根を求めれば、これが伝達関数の絶対値に等しいという(15)式の結果から比較のために求めたものである。

- ⑨ 伝達関数 H_{gp} : X_g を入力とし、 X_p を出力として(f)式から計算したもので、絶対値 A_{gp}

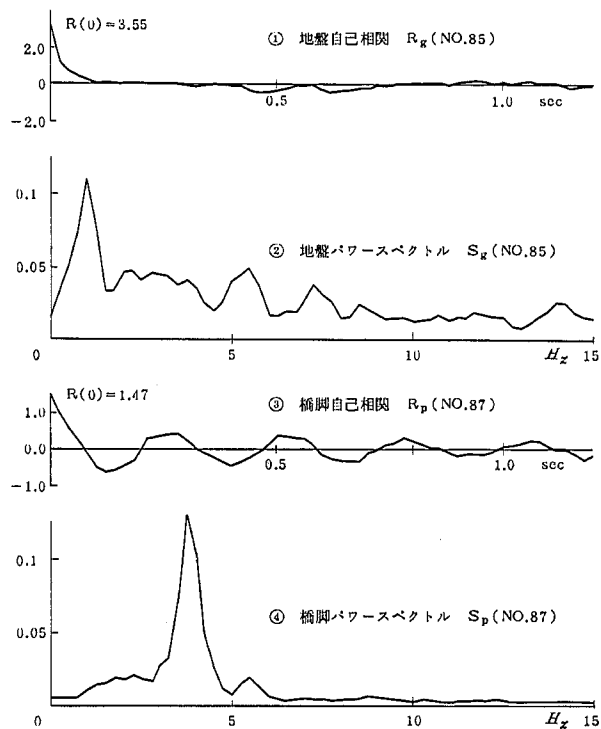


図-4.1 (1) Ex 1, 地盤と橋脚 橋軸方向速度記録
 (データ NO.85, NO.87)

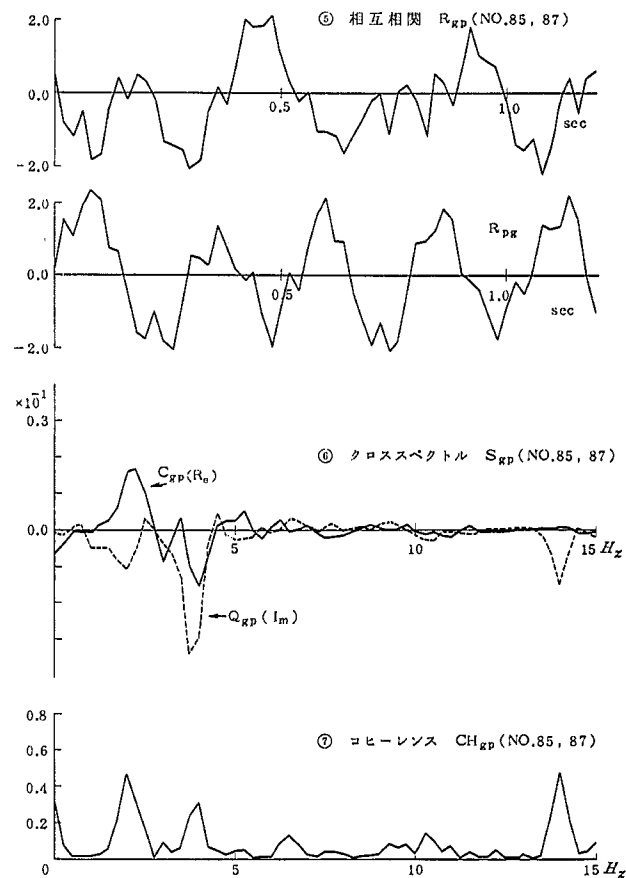


図-4.1 (2) Ex 1, 地盤と橋脚 橋軸方向速度記録
 (データ NO.85, NO.87)

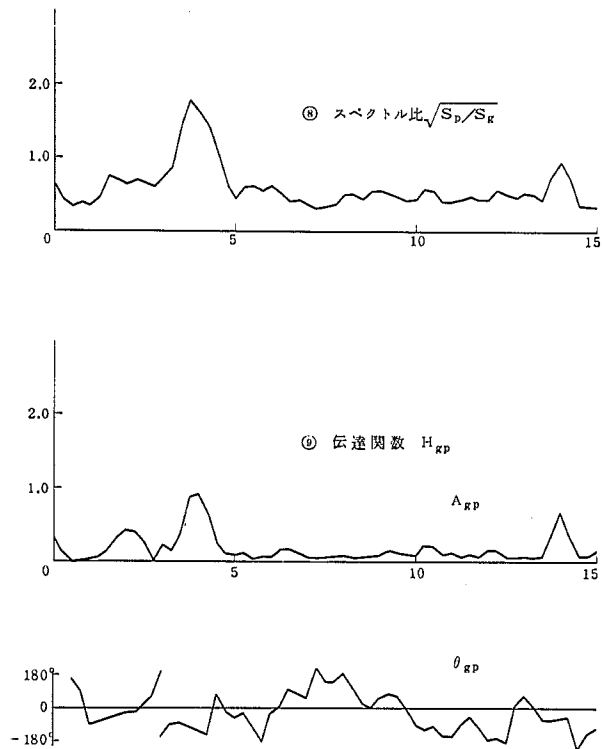


図- 4.1(3) Ex 1, 地盤と橋脚 橋軸方向速度記録
(データ NO.85, NO.87)

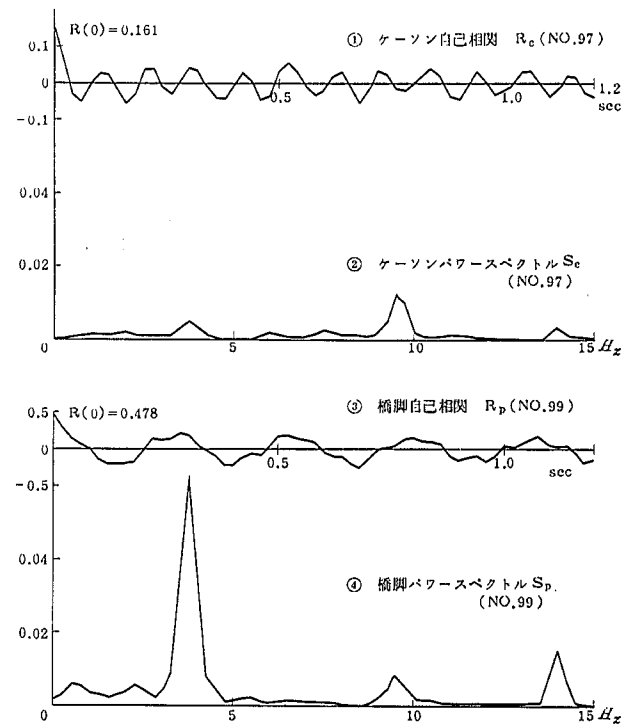


図- 4.2(1) Ex 2, ケーソンと橋脚 橋軸方向速度記録
(データ NO.97, NO.99)

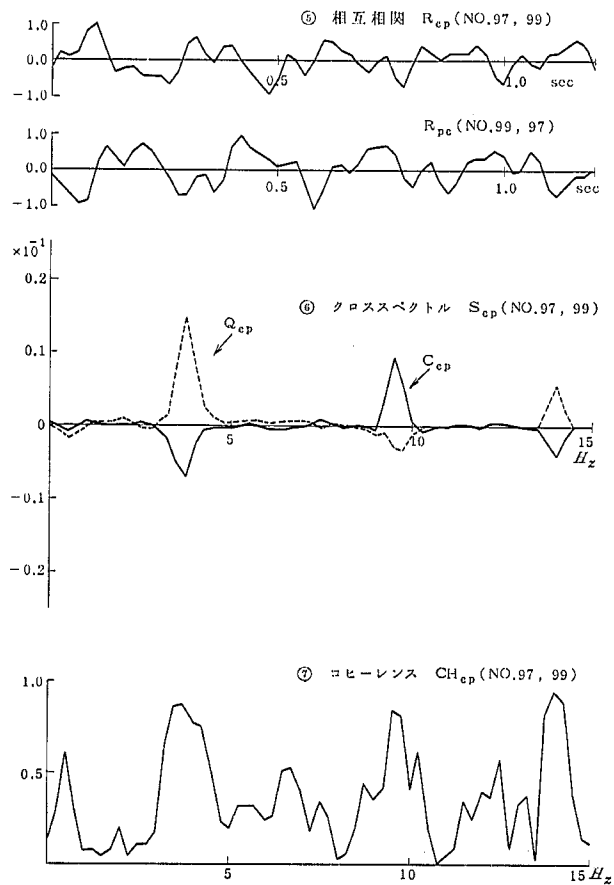


図-4.2(2) Ex 2, ケーソンと橋脚 橋軸方向速度記録
(データ NO.97, NO.99)

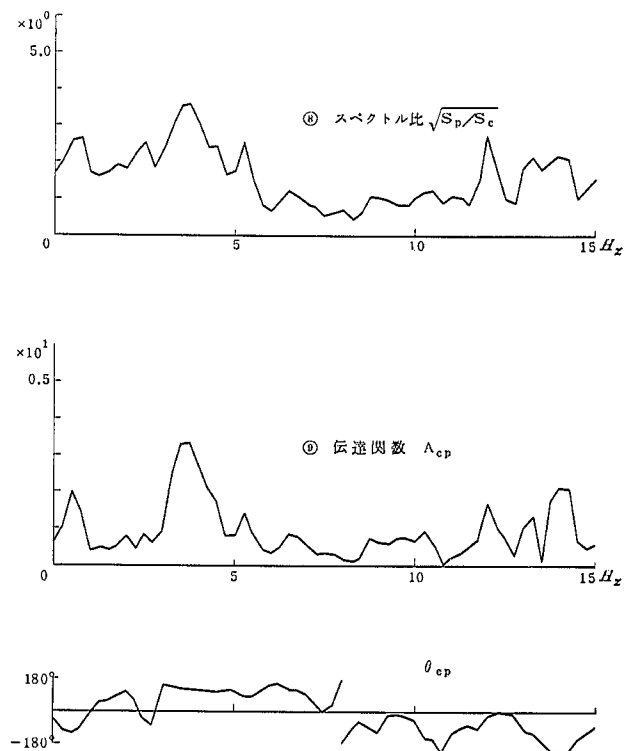


図-4.2(3) Ex 2, ケーソンと橋脚 橋軸方向速度記録
(データ NO.97, NO.99)

と位相差 θ_{gp} とを示したものである。

図-4.2はケーソン天端と橋脚天端との橋軸方向速度記録について図-4.1におけると同様の計算結果を示したもので、データ θ_i はそれぞれの図中に示しておいた。

以上のような各種確率量の内、振動特性を考察するのに重要なものは次のようなものであると考え、以下に示す解析結果はこれらを中心を示すこととした。

- ・ パワースペクトル S
- ・ コヒーレンス CH
- ・ スペクトル比 $\sqrt{S_o/S_i}$
- ・ 伝達関数 $H_{io} (A_{io}, \theta_{io})$

4-1 地盤強震計設置位置の動特性

校庭において、地盤の強震計設置台上と付近の地盤上とでの常時微動記録を採った。

図-4.3は強震計設置台上と付近地盤との速度記録それぞれ3方向成分のパワースペクトルを比較したものである。図から速度記録のパワースペクトルのピークは表-4.1のような振動数をとっていることがわかる。

表-4.1

	強震計設置台上	付 近 地 盤 上
橋 軸 方 向	4.5 Hz	2.3 Hz
橋 軸 直 角 方 向	3.0 Hz	3.0 Hz
鉛 直 方 向	4.0 Hz	4.5 Hz

図-4.4、図-4.5は強震計設置台上と付近地盤上とでの速度記録の相関をみたもので、図-4.4は橋軸方向について図-4.5は橋軸直角方向について同時記録の解析結果である。

これらの図をみてまずコヒーレンス CH が橋軸方向、直角方向いずれも2~8 Hz の範囲で約0.8以上と高く、強震計設置台上と付近地盤上との現象に相関が高いこと、すなわちほぼ同一の起震源によるものであることがわかる。

また橋軸方向については約4~9 Hz の範囲で地盤上の速度が約3~4倍に拡大されて強震計設置台に現われており、橋軸直角方向については2~4 Hz の範囲でほぼそのまゝ伝わり、高周波になるにつれて倍率が大きくなっていることがわかる。

以上のような両者間で相関が高いことは強震計設置台が長さ4mのRC杭を基準とする浮基礎であることによるのであろう。

強震計設置台によって、少なくとも常時微動のもとではやゝ現象が拡大されているようである。

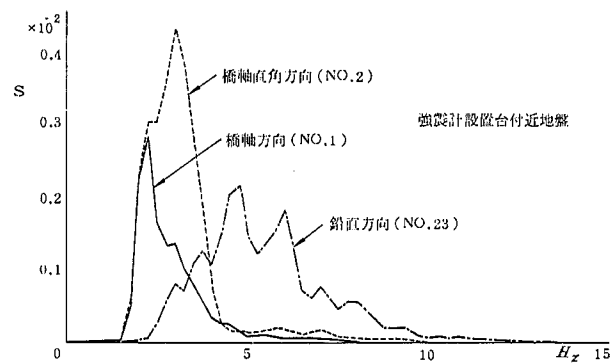
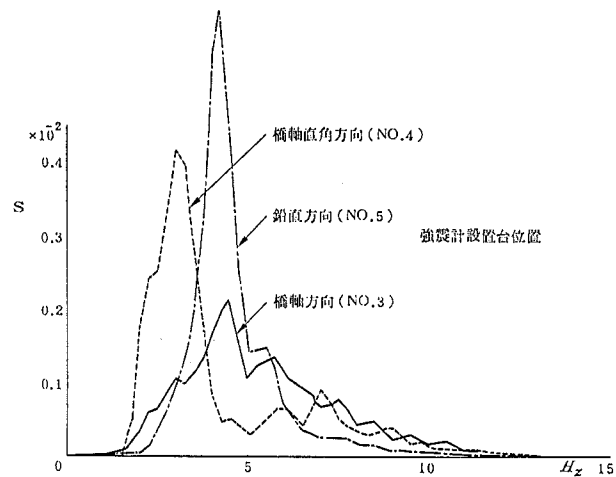


図-4.3 校庭パワースペクトル

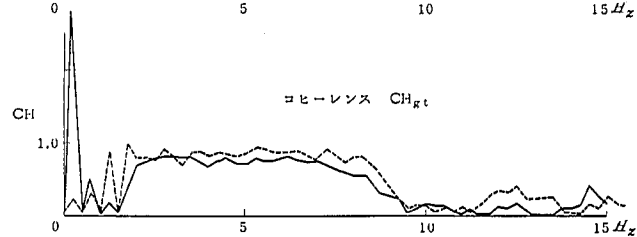
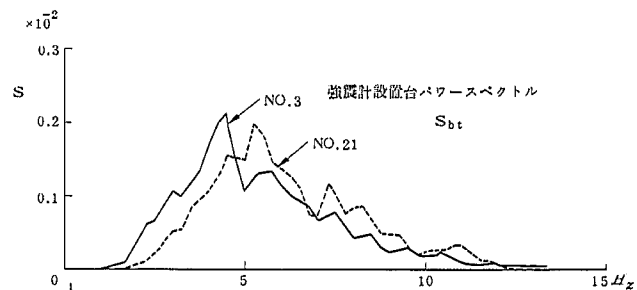
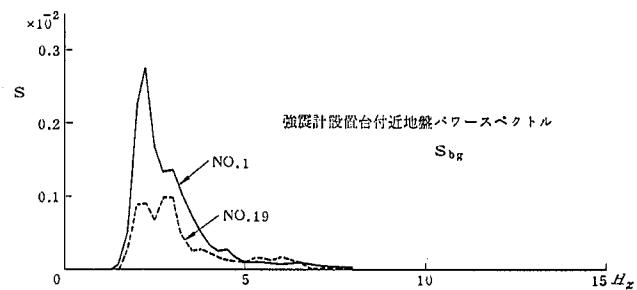


図-4.4 (1) 校庭橋軸方向速度

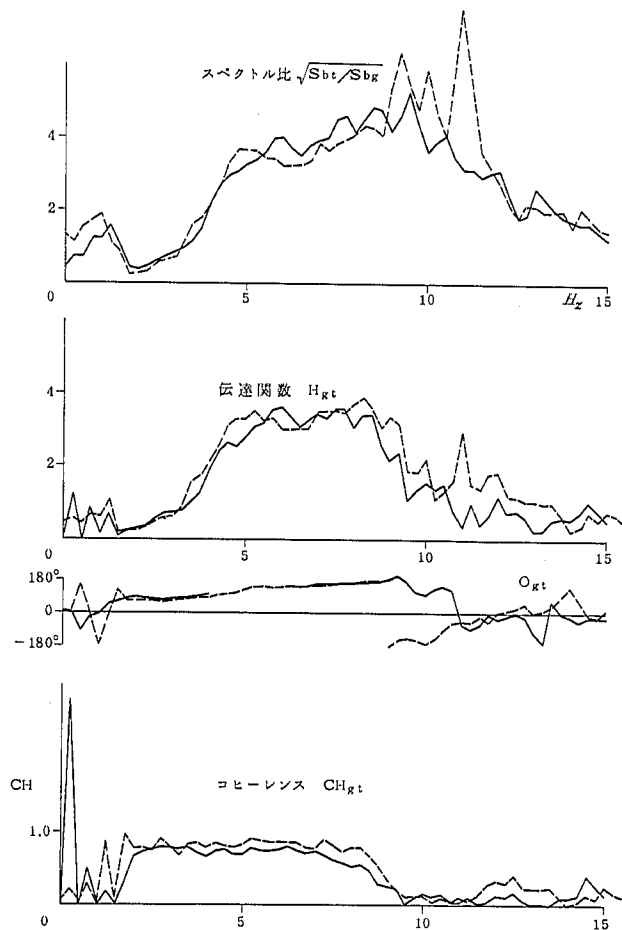


図- 4.4 (2) 校庭橋軸方向速度

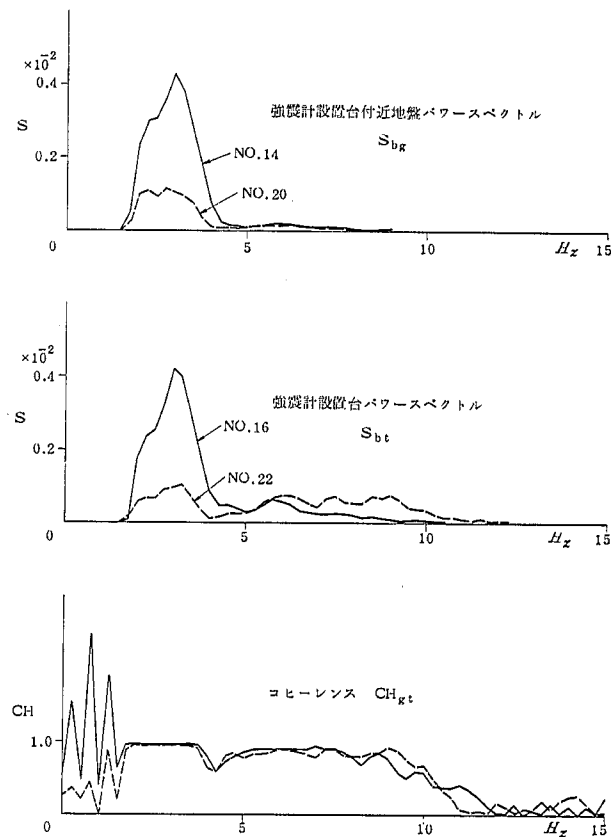


図- 4.5 (1) 校庭橋軸方向速度

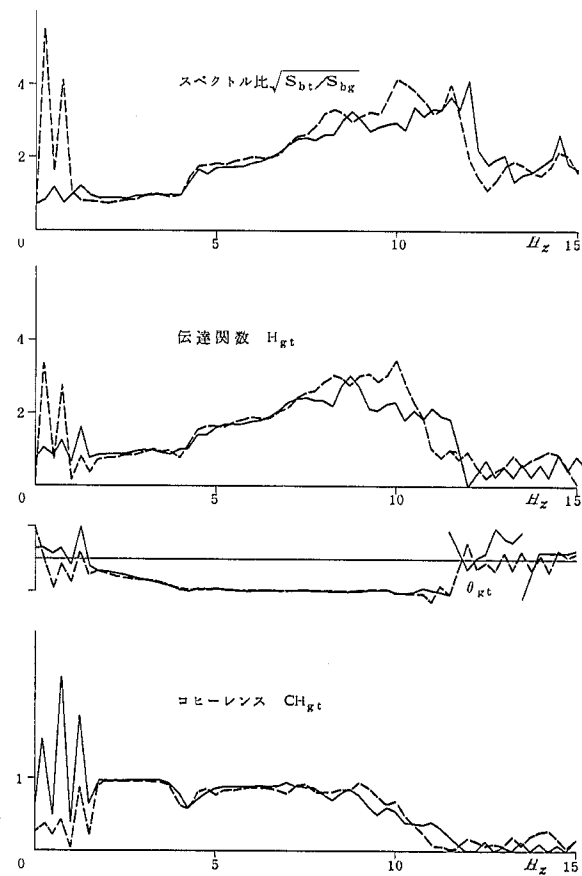


図-4.5(2) 校庭橋軸直角方向速度

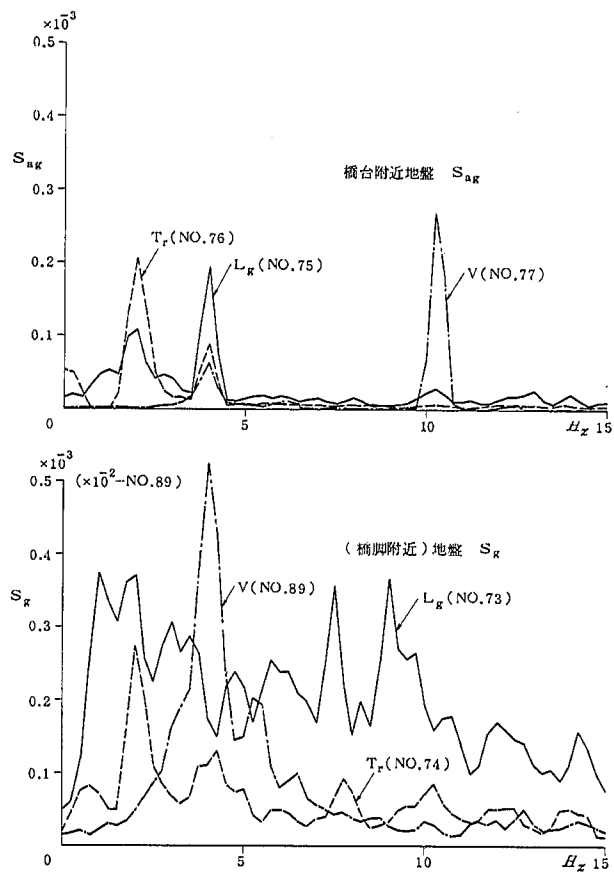


図-4.6 地盤のパワースペクトル

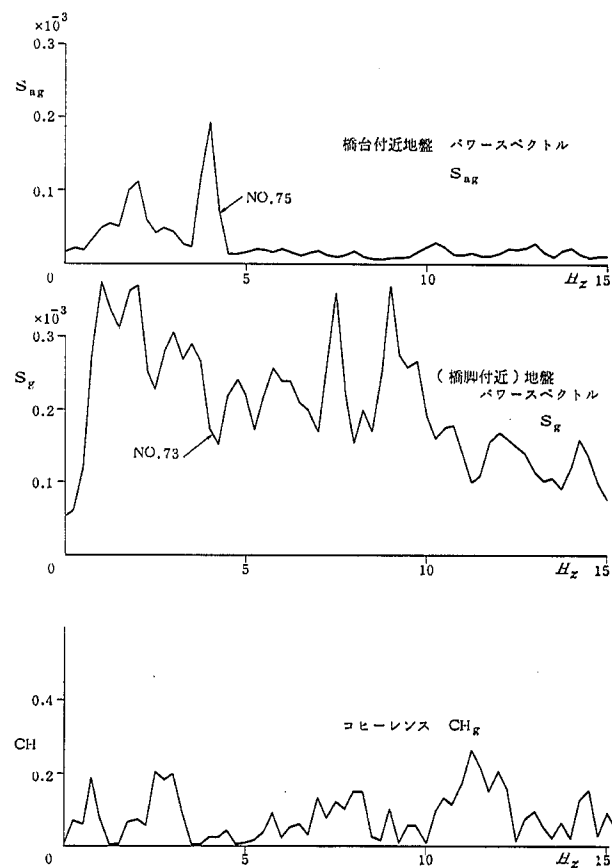


図-4.7 地盤橋軸方向速度

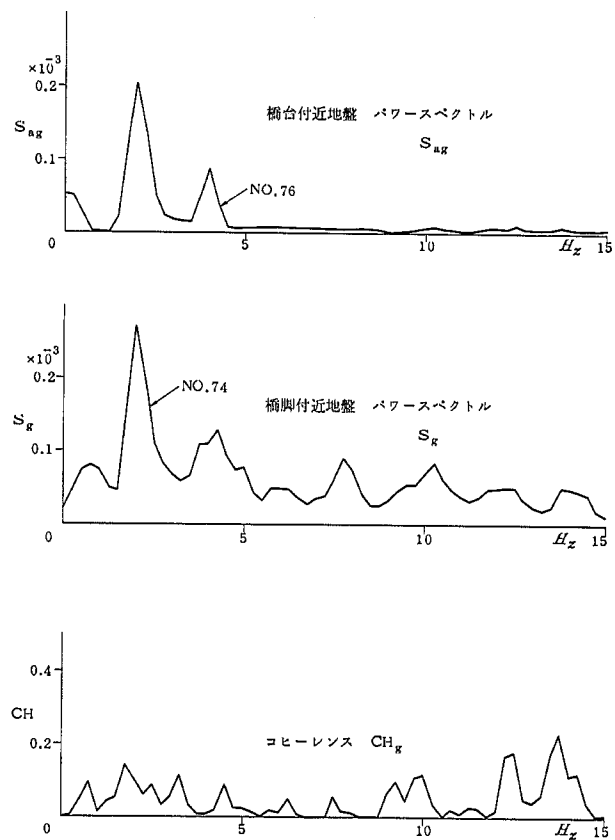


図-4.8 地盤橋軸直角方向速度

4-2 板島橋地盤の動特性

板島板架橋地点において、橋台付近（右岸道路側）とP4 橋脚付近地盤上とで、常時微動を同時記録したが、これらのデータから両者の動特性、また両者間の相関を推定できる。

図-4.6は橋台付近地盤上と橋脚付近地盤上とで得られた代表的な速度記録からそれぞれ3成分のパワースペクトルを図示したものである。この図からスペクトルのピークが表-4.2のように読取れる。

表-4.2

	橋台付近地盤上	橋脚付近地盤上
橋軸方向L	4.0 Hz	—
橋軸直角方向T	2.0 Hz	2.0 Hz
鉛直方向V	9.0 Hz	4.0 Hz

橋脚付近地盤上の橋軸方向のスペクトルには多くのピークが現われており、卓越振動数を定め難い結果となっている。

図-4.7, 図-4.8は橋軸方向と橋軸方向とについて、それぞれ両者の相関をみたものであるが、図にみられるごとく両者間のコヒーレンスは約0.1と非常に小さく、ほとんど独立の振動状態にあると推定される。

4-3 橋脚の動特性

橋脚天端での常時微動測定は

深夜、干潮時

昼間、満潮時

の2回にわけて行なった。昼間には常時微動の他に自動車通行時の測定も行なったが、これは上部構造の動特性に主眼をおいた測定であり、ここでは省略する。

深夜測定時には10m/s内外の強い風が吹いていたが、このことも記録に影響を与えているかもしれない。

図-4.9は深夜と昼間とでの橋脚天端速度のパワースペクトルを図示したもので、図-4.9(1)は深夜の、また図-4.9(2)は昼間の結果である。昼と夜とでスペクトル曲線にかなりの差がみられる。特に鉛直成分についてその差が大きい。深夜6 Hz 付近にあるピークが昼間には現われていない。これは主に潮位の影響と考えられる。

橋軸方向、橋軸直角方向についても少しづつみだされた結果が得られており、固有振動数も明確には読取れないが、図-4.10 以下の結果をもくらべてば表-4.3のように推定できよう。なお干潮時橋軸直角方向で2 Hz 付近に現われているピークは地盤の卓越振動が橋脚にも現われたものと考えられる。橋軸方向でも2 Hz の近くにピークが現われる場合があるが、この方向の地盤卓越振動に2 Hz の成分があるとみることとも可能である。干潮時1.4 Hzに3成分ともピークを持つが、この原因は不明である。

図-4.10, 図-4.11 は付近の地盤と橋脚天端との相関をみた図であるが、橋軸方向についての

表-4.3

	1 次	2 次
橋 軸 方 向	約 3.75 Hz	約 9.75 Hz
橋軸直角方向	約 3.25 Hz	約 9.0 Hz
鉛 直 方 向	約 $6.0 \text{ Hz} (10.0 \text{ Hz})$	——

図-4.10, 橋軸方向についての図-4.11 いずれの結果でもコヒーレンスが非常に小さいので、これから橋脚の動特性を考慮するのは危険であると考ええる。ただ、 2 Hz 付近でコヒーレンスが 0.5 とよい相関が得られているが、これは前述のごとく地盤の振動がそのまま橋脚に現われたものと考えられよう。

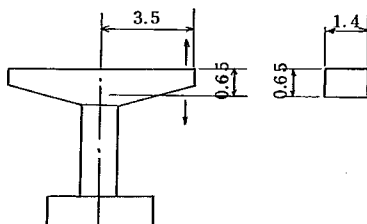
図-4.12, 図-4.13はケーソン天端と橋脚天端との相関をみたものである。ケーソン、橋脚をほぼ剛体とみなせばコヒーレンスは 1.0 となるべきであるが、図にみられるごとく部分的に大きな値をとる部分もあるが、平均的には、あまり相関はよくない。ケーソン、橋脚系の固有振動状態ではそこに供給されるエネルギーレベルも高く記録もより精度がよいと考えられる。そのとき必然的にコヒーレンスも大きくなるであろう。エネルギーレベルの低い振動数域では、ピックアップの設置状況やその特性の若干のちがいでコヒーレンスを小さくするであろう。

ちなみに橋脚の固有振動数を設計計算書のデータから概算すると[1]のごとくである。T形橋脚片持梁の固有振動数は数 Hz と高く、その振動性状を測定結果から読取ることは困難である。一方橋脚躯体をケーソン天端で固定されているとみなしての固有振動数 3.88 Hz は橋軸方向の固有振動測定値 3.75 Hz にほぼ一致している。橋軸方向1次振動は橋脚躯体の振動であるということができる。橋軸直角方向についても計算では同じ 3.88 Hz と概算されるが、測定からは 3.25 Hz と得られている。このことからケーソン天端での固定が完全でなく、固有振動数の測定値は計算値を下まわる傾向にあり、橋軸直角方向にくらべて橋軸方向の方が橋脚天端での拘束が大きいために表-4.3のような結果が得られたものと考えられる。

固有振動での伝達関数 H から相対的な変位が知られる。これから振動モードを推定することが可能である。厳密には複素モードの形で得られるが、いま大胆に実数値し、図示すると図-4.14のごとくになるかもしれない。位相 θ についての厳密な考察を行ないケーソン各部関の伝達関数を調べることによってモードの信頼性は向上しよう。

〔1〕橋脚の振動数計算

(1) 橋脚の張り出し部の上下振動 (m ass は考えない)



$$\ell = 3.5 \text{ m}$$

$$r = 2.5 \text{ t/m}$$

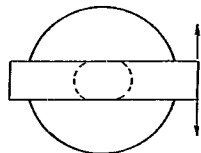
$$I = \frac{1}{12} \times 1.4 \times 0.65^3 = 0.03203 \text{ m}^4$$

$$A = 1.4 \times 0.65 = 0.91 \text{ m}^2$$

$$f = \frac{1.8751^2}{2 \times 3.14 \times 3.5^2} \cdot \sqrt{\frac{2.1 \times 10^7 \times 9.8 \times 0.03203}{0.91 \times 10}}$$

$$= 38.89 \text{ Hz}$$

(2) 橋脚の張り出し部の左右振動 (mass は考えない)



$$I = \frac{1}{12} \times 0.65 \times 1.4^3 = 0.1486 \text{ m}^4$$

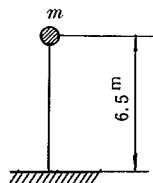
$$f = \frac{1.8751^2}{2 \times 3.14 \times 3.5^2} \cdot \sqrt{\frac{2.1 \times 10^7 \times 9.8 \times 0.1486}{0.91 \times 10}}$$

$$= 83.78 \text{ Hz}$$

(3) 一質点系としたときの橋脚の振動

(桁 1 本分と橋脚の上半分の mass を考える)

橋軸方向と橋軸直角方向に関しては、断面が程んど変わらないため同じとする。



$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3EIg}{m\ell^3}}$$

$$m_{\text{桁}} = 28.4 \times 4.86 = 138.02 \text{ t}$$

$$m_p = 1.4 \times 0.65 \times 7.0 \times 2.5 + 3.14 \times 0.85^2 \times 2.6 \times 2.5$$

$$= 17.02 \text{ t}$$

$$m = m_{\text{桁}} + m_p$$

$$= \frac{155.04 \text{ t}}{9.8}$$

$$I = \frac{3.14 \times 1.7^4}{64} = 0.40977 \text{ m}^4$$

$$f = \frac{1}{2 \times 3.14} \sqrt{\frac{3 \times 2.1 \times 10^7 \times 0.40977 \times 9.8}{155.04 \times 6.5^3 \times 10}}$$

$$= 3.88 \text{ Hz}$$

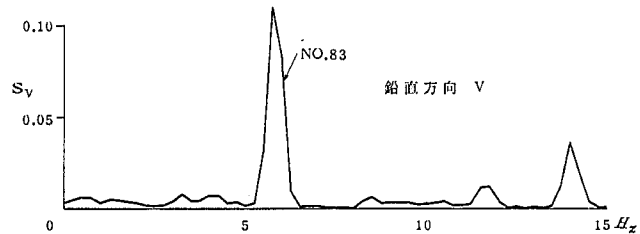
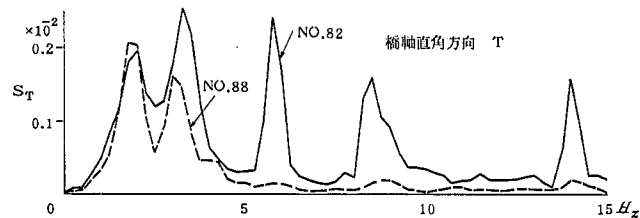
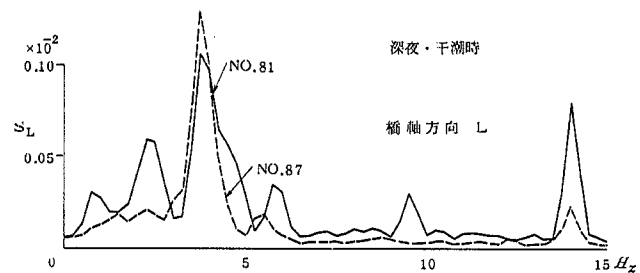


図-4.9 (1) 橋脚天端速度パワースペクトル

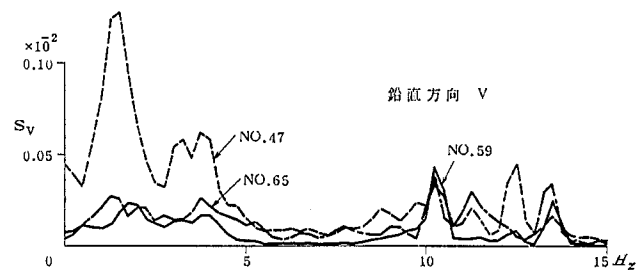
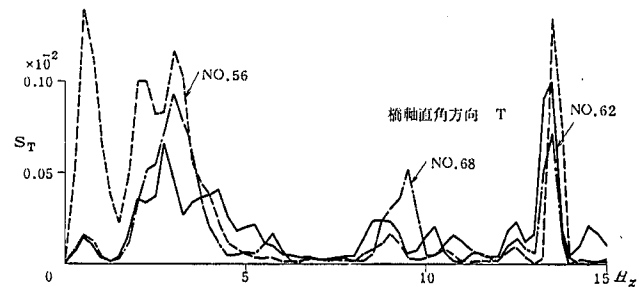
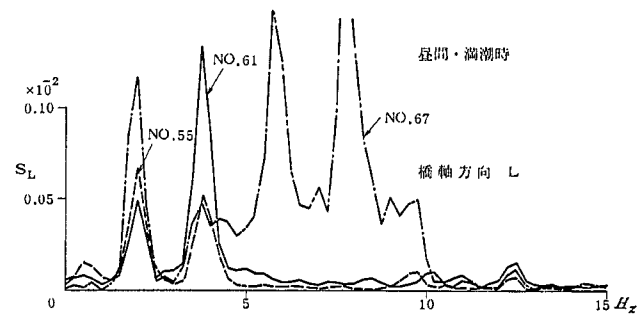


図-4.9 (2) 橋脚天端速度パワースペクトル

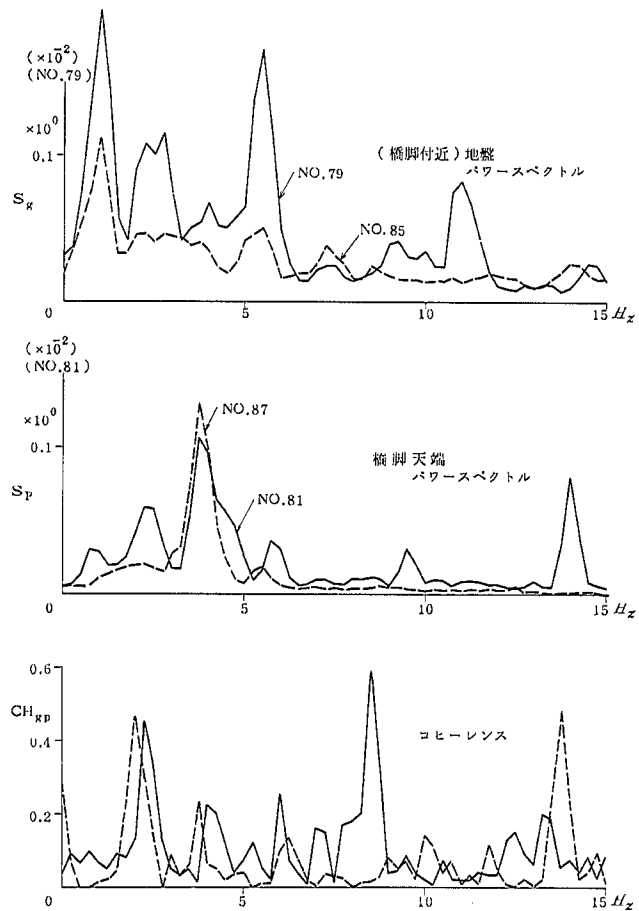


図- 4.10(1) 地盤と橋脚天端との相関(橋軸方向)

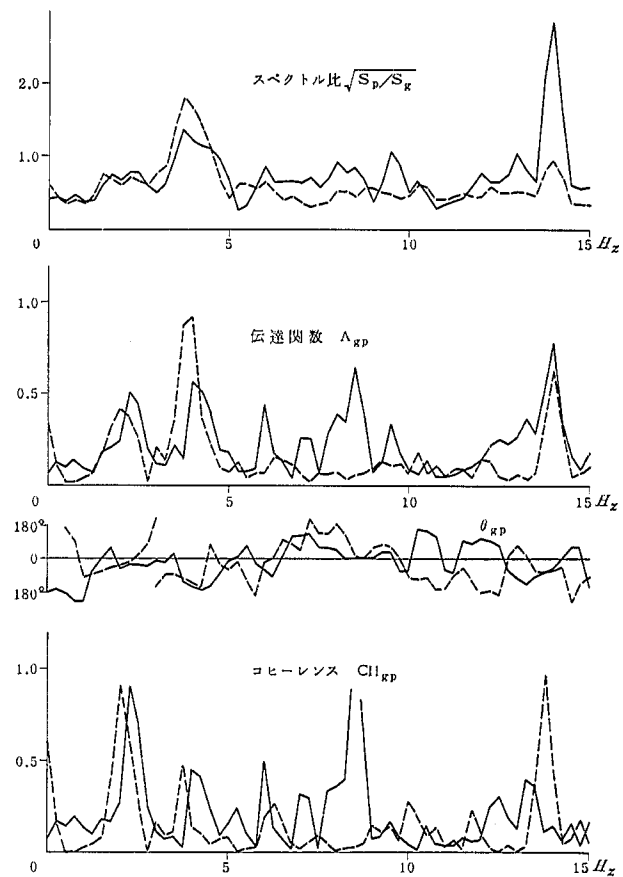


図- 4.10(2) 地盤と橋脚天端との相関(橋軸方向)

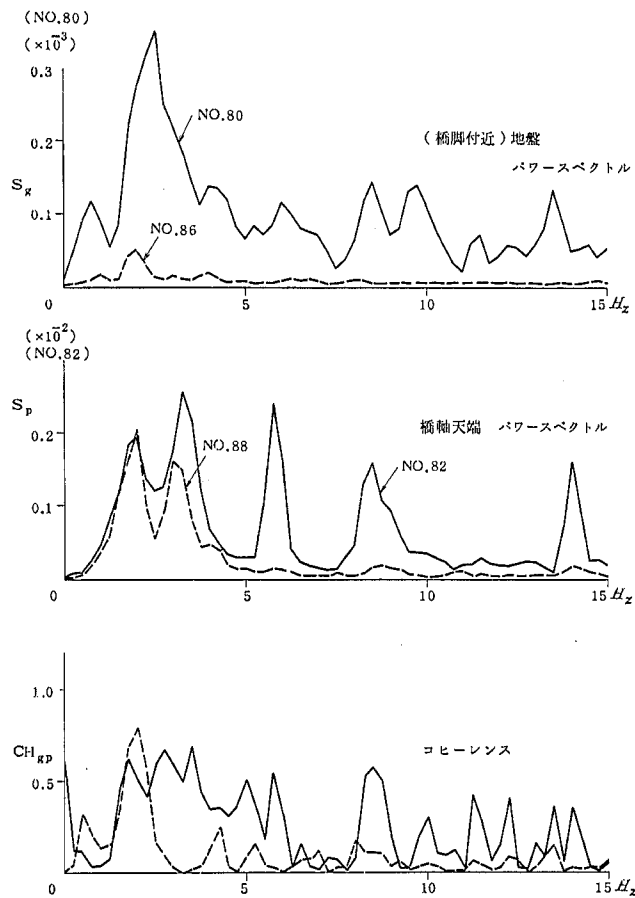


図- 4.1.1(1) 地盤と橋脚天端との相関(橋軸直角方向)

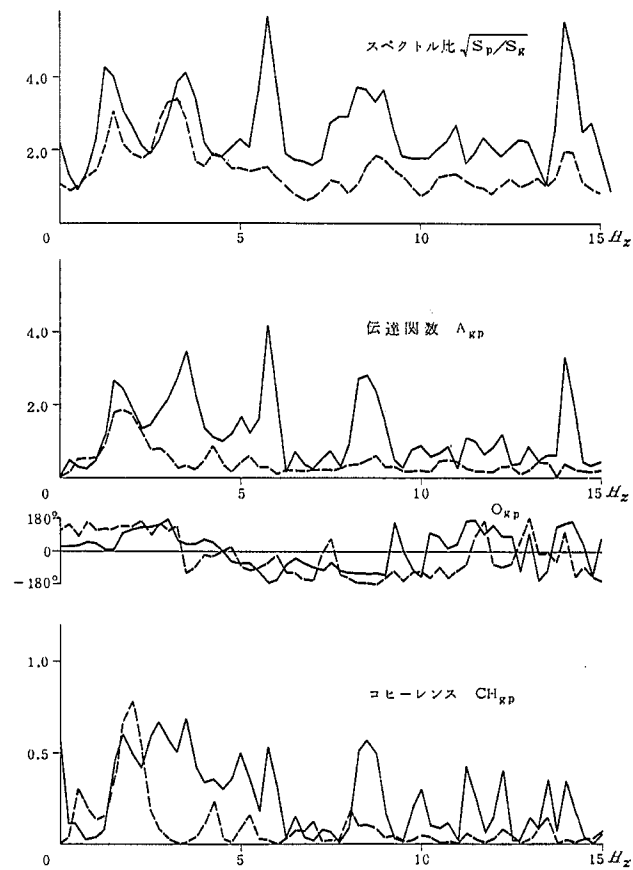


図- 4.1.1(2) 地盤と橋脚天端との相関(橋軸直角方向)

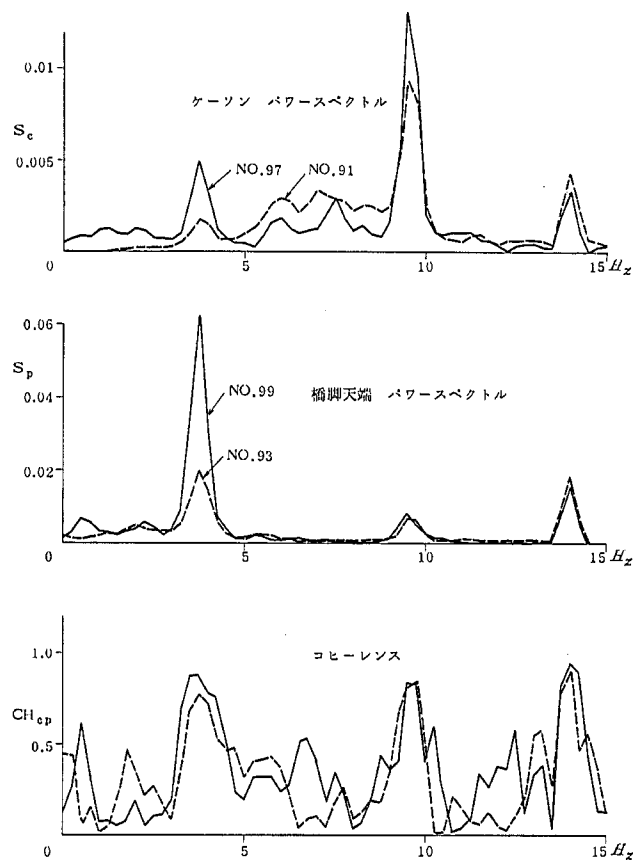


図- 4.1 2(1) ケーソンと橋脚天端との相関(橋軸方向)

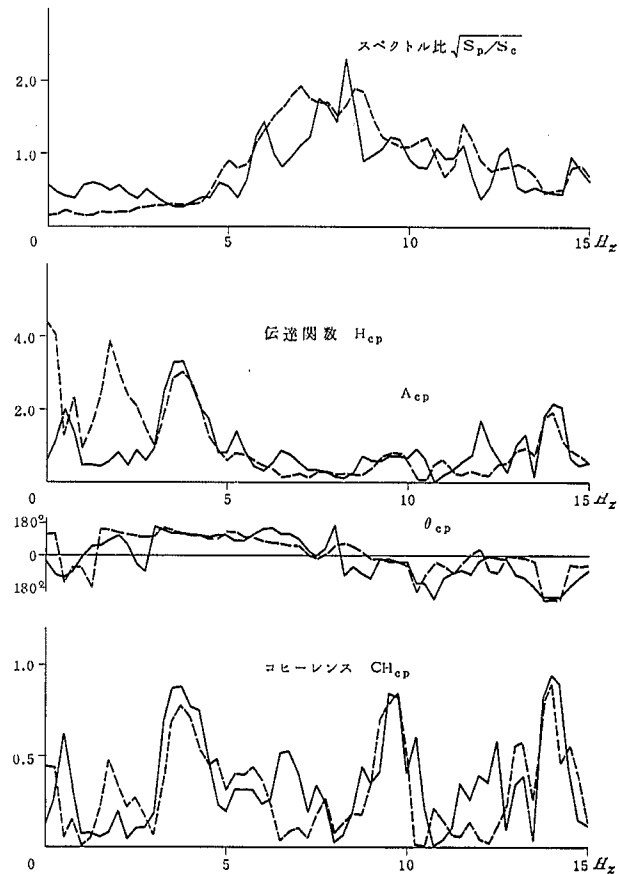


図- 4.1 2(2) ケーソンと橋脚天端との相関(橋軸方向)

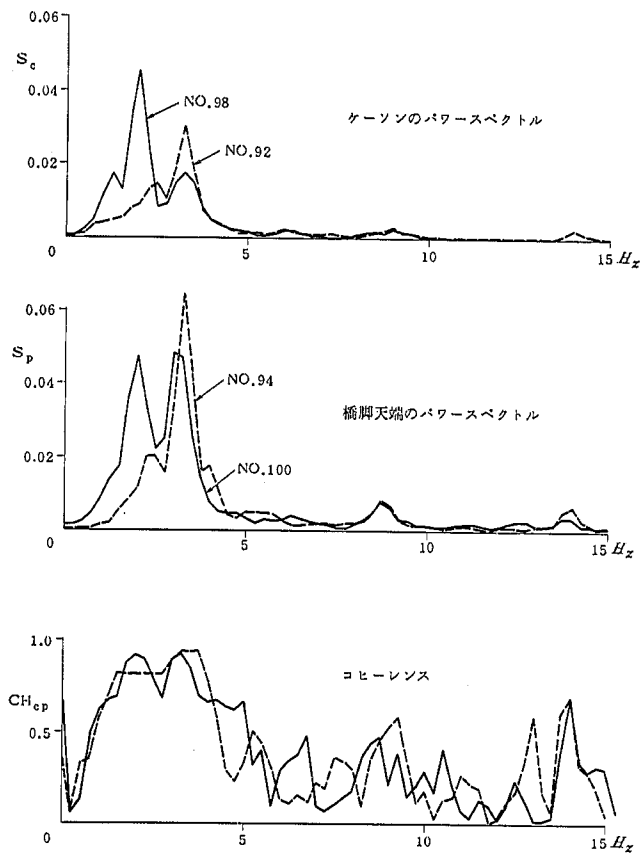


図- 4.13(1) ケーソンと橋軸天端との相関 (橋軸直角方向)

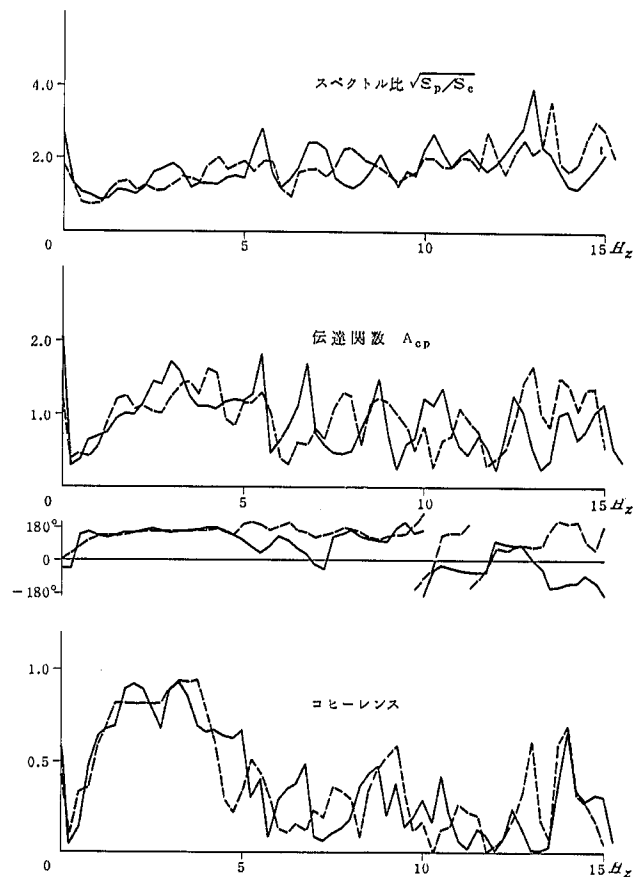
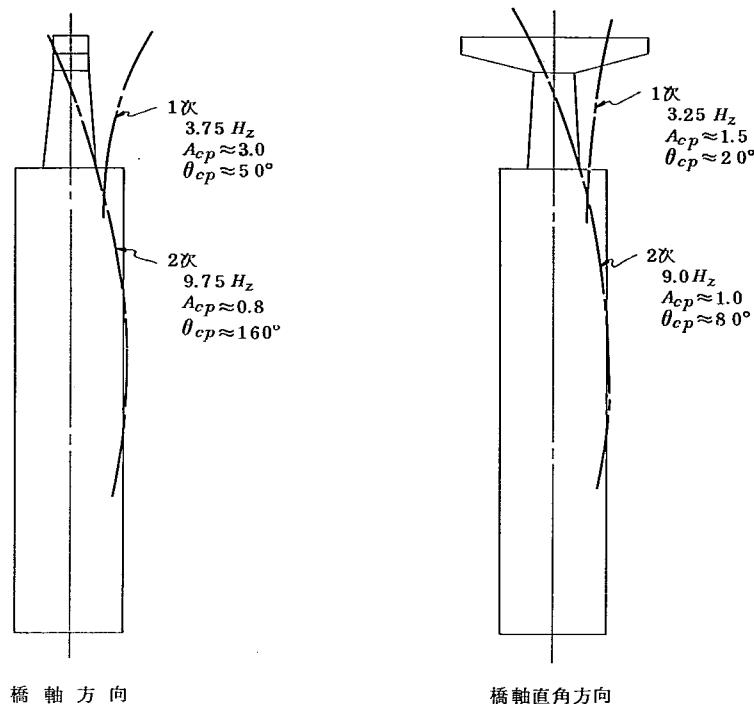


図- 4.13(2) ケーソンと橋脚天端との相関 (橋軸直角方向)



図－4.14 橋脚・振動モード（推定）

4－4 上部構造の動特性

着目した橋脚P4の右岸側上部構造，スパン中央，上流側地覆上においたピックアップによって上部構造の振動を測定した。測定は昼間の自動車通行時と自動車の通行を一時的に遮断して行なった常時微動とについて行なった。いずれも速度の記録である。

同時に測定した橋脚天端での記録をあわせて解析結果を図－4.15に示す。図－4.15(1)が常時微動時であり，図－4.15(2)が自動車通行時である。いずれも実線で上部構造のパワースペクトルを，また破線で橋脚天端のパワースペクトルを示した。

図からみて橋軸方向および橋軸直角方向については，上部構造が特に励振されたと思われる現象は現われていない。

いずれも橋脚が励振された結果，上部構造にも現われたものであろう。

上部構造諸元から橋軸直角方向および鉛直方向の固有振動数を算出する。

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{\pi}{2\ell^2} \sqrt{\frac{EIg}{m}} = \frac{3.14}{2 \times 28.4^2} \times \sqrt{\frac{2.1 \times 10^7 \times 9.8 \times 0.56}{4.86}} = 9.5 \text{ Hz (直角方向)} \\
 &= \frac{3.14}{2 \times 28.4^2} \times \sqrt{\frac{2.1 \times 10^2 \times 9.8 \times 0.063}{4.86}} = 3.3 \text{ Hz (鉛直方向)}
 \end{aligned}$$

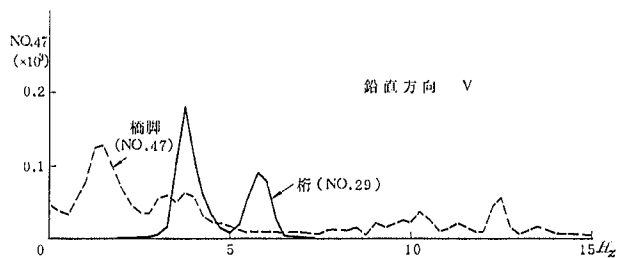
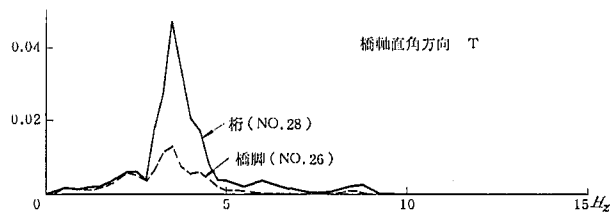
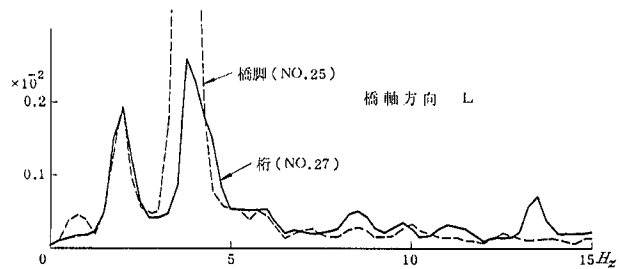


図- 4.15(1) 上部構造のパワースペクトル昼間常時微動
(橋軸天端との比較)

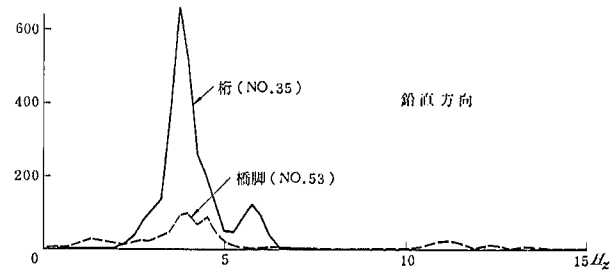
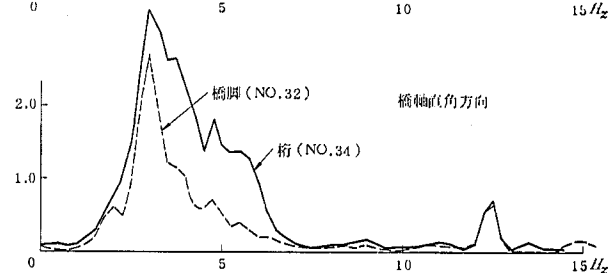
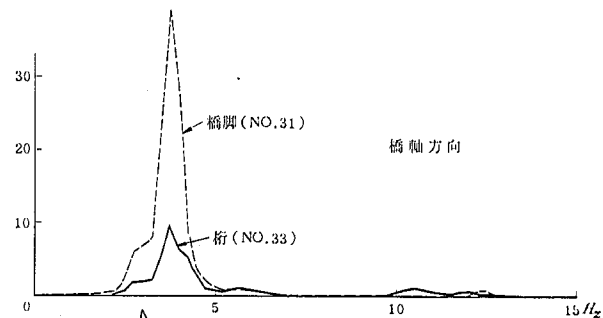


図- 4.15(2) 上部構造のパワースペクトル昼間自動車通行時
(橋軸天端との比較)

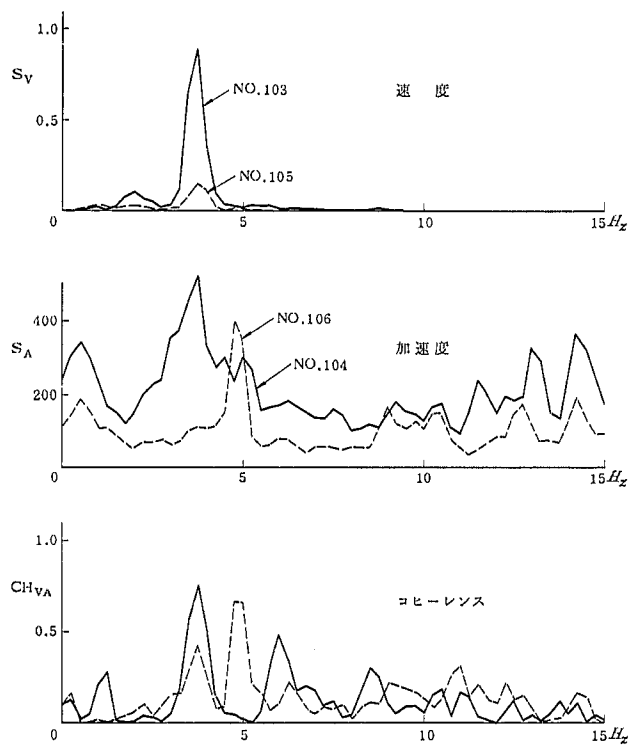


図- 4.16(1) 速度記録と加速記録との相関 橋脚天端
(橋軸方向, 昼間, 常時)

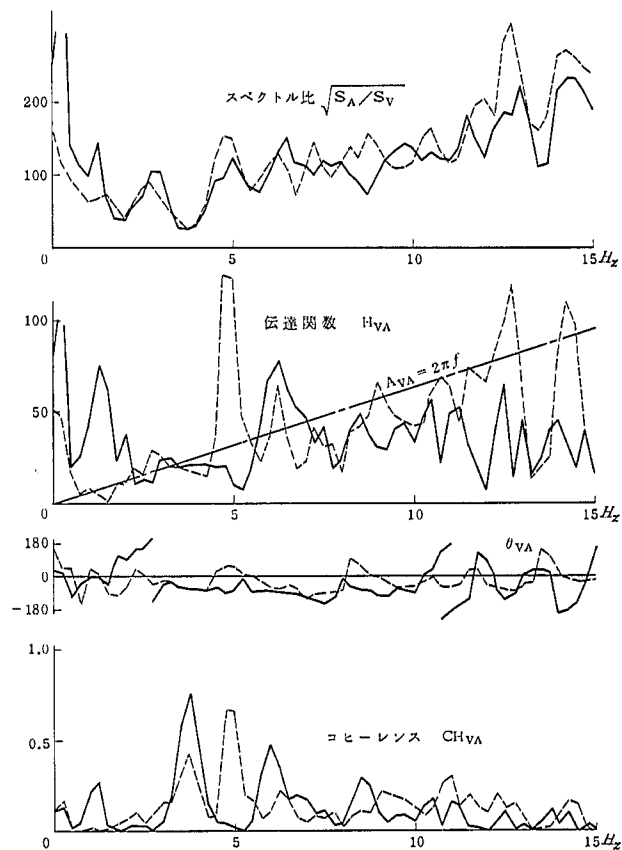


図- 4.16(2) 速度記録と加速記録との相関 橋脚天端
(橋軸方向, 昼間, 常時)

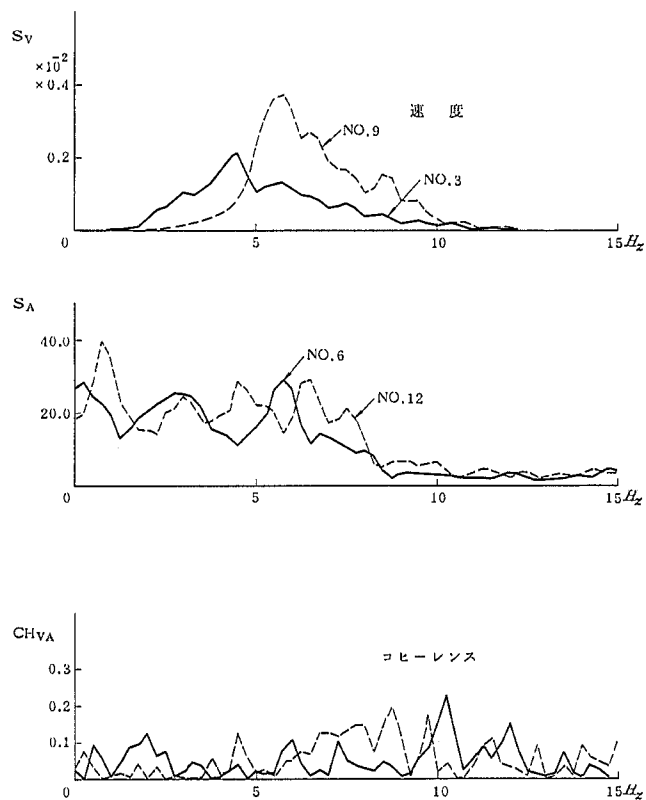


図-4.17(1) 速度記録と加速度記録との相関
校庭強震計設置点 橋軸方向(常時)

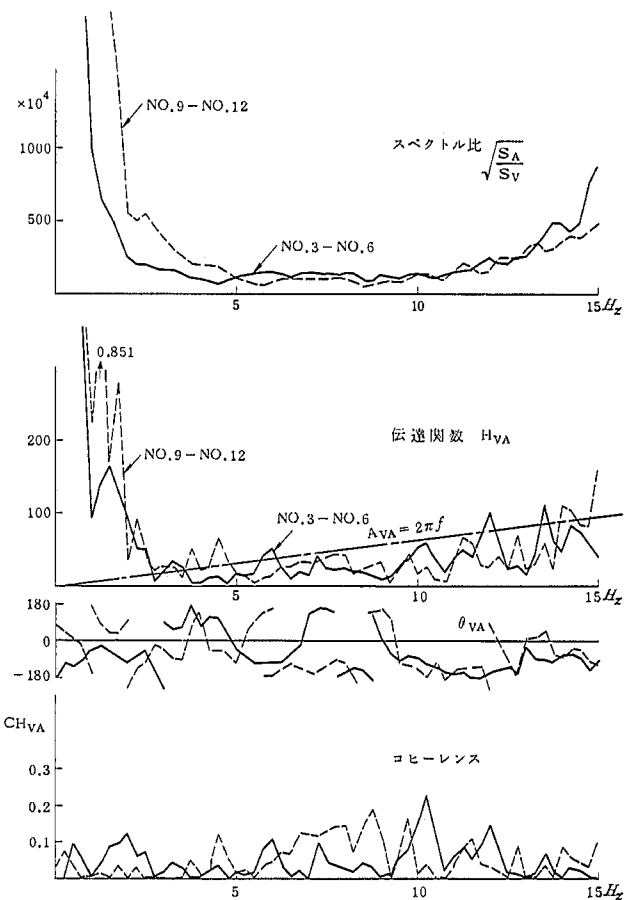


図-4.17(2) 速度記録と加速度記録との相関
校庭強震計設置点 橋軸方向(常時)

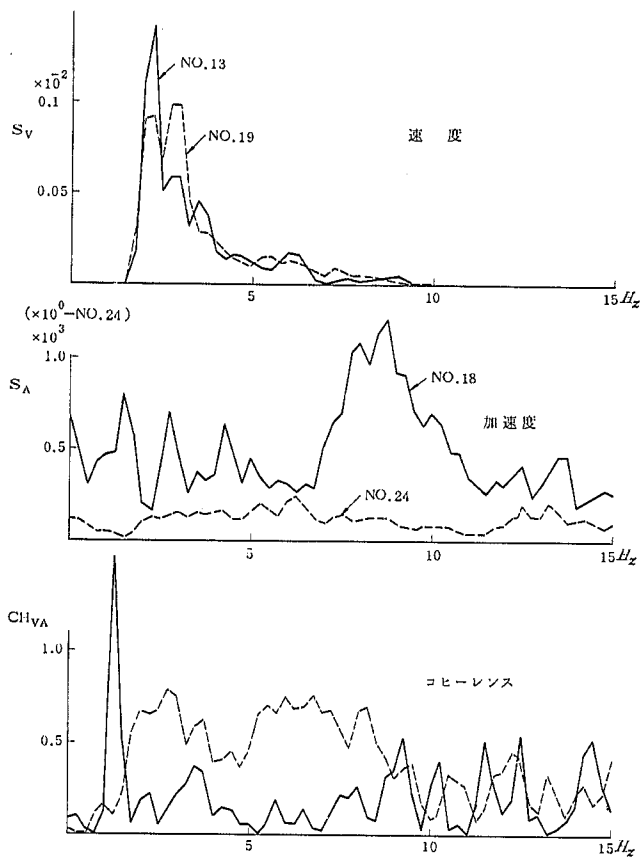


図- 4.18(1) 速度記録と加速度記録との相関
校庭強震計付近地盤 橋軸方向 (常時)

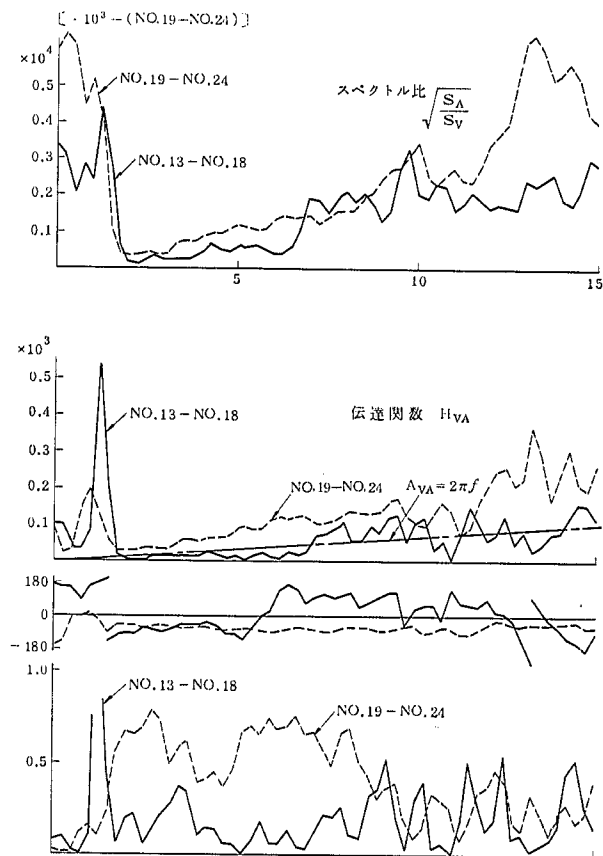


図- 4.18(2) 速度記録と加速度記録との相関
校庭強震計付近地盤 橋軸方向 (常時)

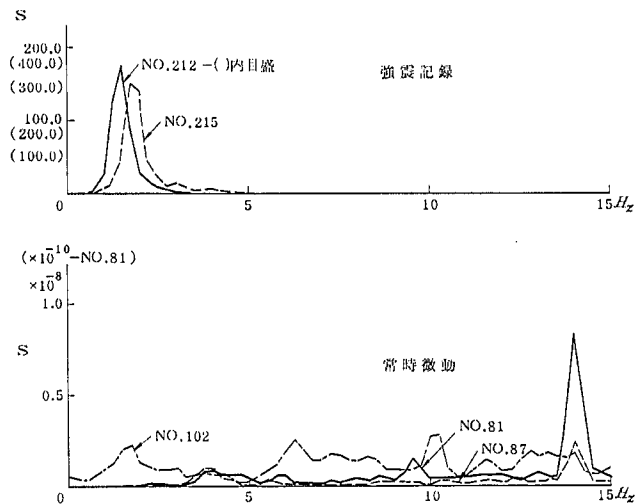


図- 4.19 (1) 強震記録と常時微動とのパワースペクトル
橋脚天端, 橋軸方向

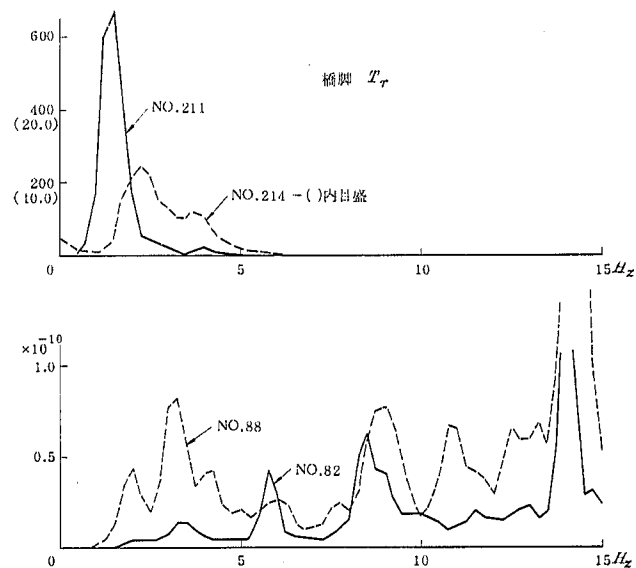


図- 4.19 (2) 強震記録と常時微動とのパワースペクトル
橋脚天端, 橋軸直角方向

自動車走行時の橋軸直角方向 12.5Hz にあるスペクトルのピークが計算の 9.5Hz に相当する桁の固有振動かもしれない。

鉛直方向では 3.75Hz で明らかに桁が振動されている。これは計算の 3.3Hz に相当するものである。桁の実剛性が計算上の剛性より若干高いことは十分予想されることである。

4-5 速度記録と加速度記録との相関

今回の測定は速度記録を主として行ない、加速度記録は不随的に行なった。これらの2つの同時記録が取れているので、その相関を観る目的で、この節の解析を行なった。

速度計と加速度計のそれぞれの特性のチェックを行なっていなかったため今回の結果をグラフとして表わすにとどめ、今後の参考程度にとどめたい。

4-6 強震記録と常時微動との相関

橋脚上と校庭にすでに設置されている強震計で採れた強震記録と今回速度計による常時微動との相関を観た。同時に加速度記録も付した。

速度記録は加速度レベルにしてフロントした。強震計の性能により 5Hz 以上の波形は程んどない強震記録ではそれ以下で $1\sim 2\text{Hz}$ の所でピークを持っている。常時微動ではそれらの位置では程んどなく、これらの関係はないとも思われる。又強震と常時ではレベルの違いにもより、常時微動と強震との関係はないとも思える。前述のように強震計、性能もあり検討は困難とも思われるので結果をグラフで示した。

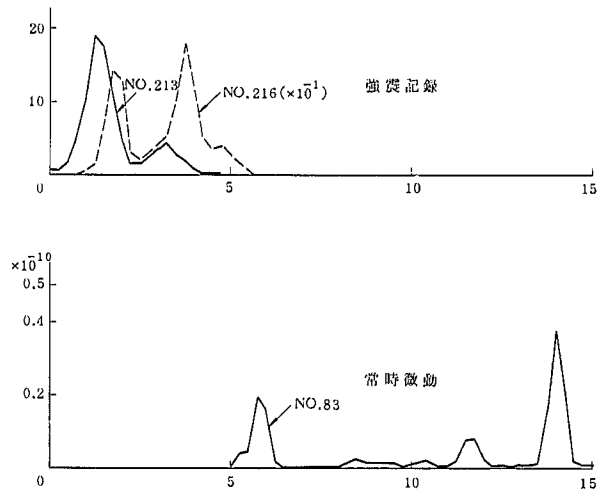


図-4.19(3) 強震記録と常時微動とのパワースペクトル
橋脚天端 鉛直方向

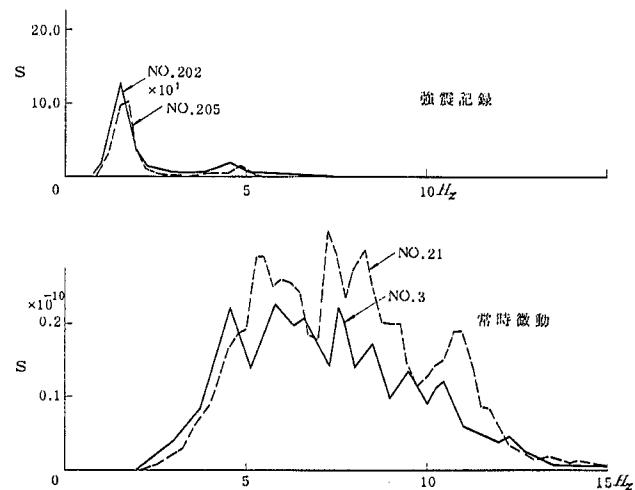


図-4.20(1) 強震記録と常時微動とのパワースペクトル
校庭地盤, 橋軸方向

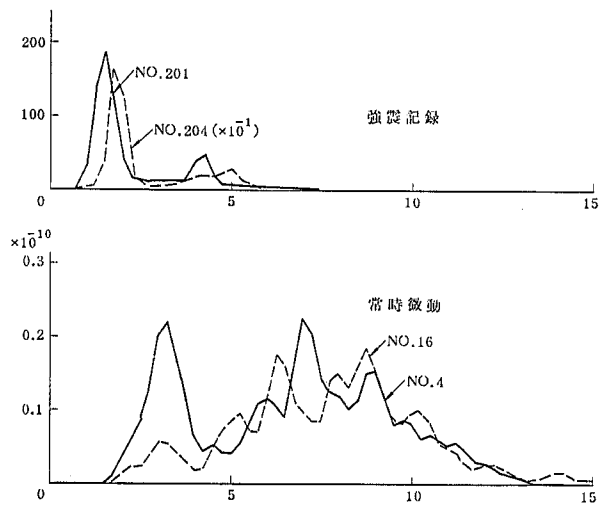


図- 4.20(2) 校庭地盤，橋軸直角方向

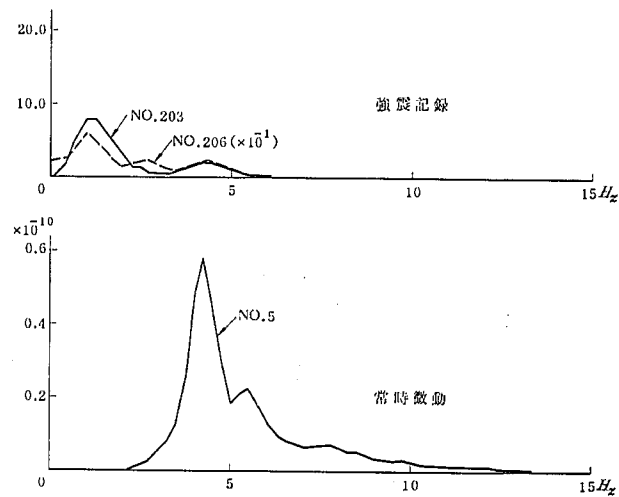


図- 4.20(3) 校庭地盤，鉛直方向

§ 5. 結 論

常時微動の場合、エネルギーレベルが低いので、測定結果には風や潮位等種々の外乱の影響を受けやすいようである。本測定では同一地点で同種の成分を2～3回にわけた測定し、データの再現性に留意したが結果的にはまだ外乱の影響を自信をもって分離できるまでにはいたらなかった。

今回の振動測定からは、結論として次のことがいえる。

(1) 常時微動と強震動との特性の間には関係がないと思われる。

これについては、さらに300gal以上の強震記録のとれている橋(たとえば落合橋(長野)、千代田橋(北海道)等)で振動測定を実施することが望ましい。

(2) 校庭におかれた強震計設置台とその付近地盤での測定記録間では、コヒーレンスも広い範囲で1.0に近く、両者間により相関がある。

(3) 板島橋の橋台付近の地盤と橋脚付近の地盤との現象間にはほとんど相関がなく、ほぼ独立な現象である。

(4) 橋脚付近地盤と橋脚天端との現象相関はすくなく、測定した地盤の動きが橋脚への入力を正しく代表するものではなかったといえるのではないか。

(5) 現象のスペクトル解析から固有振動数や卓越周期等は比較的妥当な値で得られたが、減衰特性や振動モードの推定についてはさらに検討を要しよう。

§ 6. あ と が き

測定は2回実施した。1回目は47年9月28日～29日に実施したが、接続コードの出力端子の極性が各メーカにより異なっていたため、波形が干渉して同一波形がデータレコーダに記録され使用することができなかった。

2回目の再測は48年11月6日～7日におこなった。

当初振動測定にあたって次の条件を考えた。

- ① 振動の測定継続時間は1回当たり3分程度とする。
- ② 昼間は地元警察署の許可を得て5分程度の通行止めをする。
- ③ 周囲に大きな振動を発するものがない頃とする。(たとえば杭打などの振動がないこと)
- ④ 橋脚地盤の露出する水位となる干潮のある日。
- ⑤ 潮流の動きの少ない時刻とする。
- ⑥ 天候の安定した日。
- ⑦ シンクロスコープ、ビジグラフ等によるモニターを行なう。

しかし、これらの条件は、日程の関係で天候の安定を待てない、やや離れたところに生コンの工場がある、ビジグラフは非常にノイズを拾ったり、波形の大きさの変化が著しい、等により満足されない面もかなりあり、今後これらについて注意を要する。夜間の測定は昼間に比べて良好であると思われる。

今後は風のあるとき、ないとき、雨の降っているとき、いないとき、干満潮時、潮流のあるときなどの気象条件を考慮して測定することが望ましい。

また、地盤上、橋脚上、地盤上強震計基礎上の同時測定などに関してもおこなってみる必要があると思われる。

写 真 集



写真1. 板 島 橋

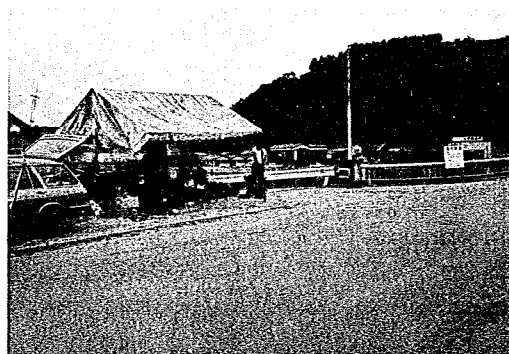


写真2. 橋 の 測 定



写真3. 橋脚地盤の計器配置

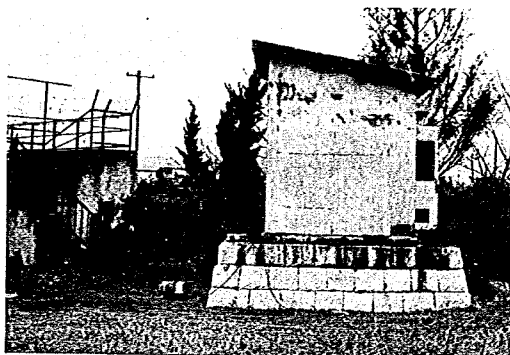


写真 4. 観測小屋（南高校）付近

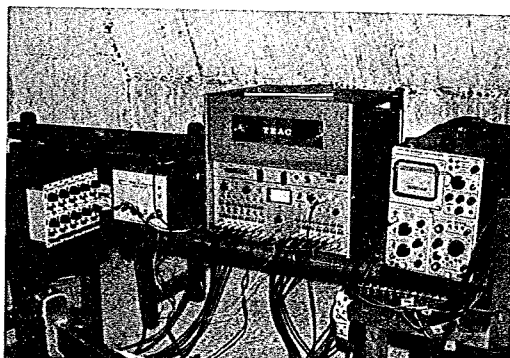


写真 5. 校庭での測定状況

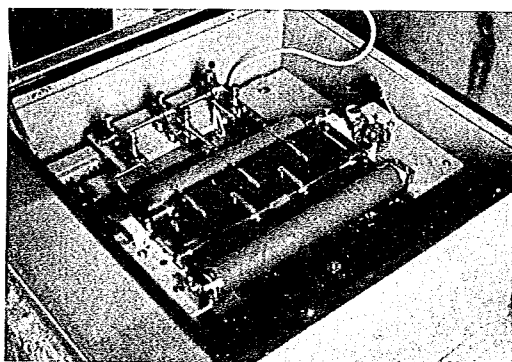


写真 6. 強 震 計

板島橋振動測定

土研資料第793号
昭48. 3 (1973)

栗 林 栄 一
飯 田 裕
福 田 富 三

キーワード 常時微動測定 強震計
振動特性

要 旨 板島橋において常時微動を測定した結果、①常時微動と強震動の特性との関係はない。②強震計設置台と附近地盤とはよい相関がある。③橋台附近地盤と橋脚附近地盤とはほとんど相関がない等のことが示された。



郵便はがき

十円切手を
はって下さ

2 8 0 - □ □

建設省土木研究所
振動研究室
御中

千葉県千葉市穴川
四丁目十二番五二号

No. 79

No.

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料793号 部

上記の通り受領しました。

所属（住所）

氏 名

印