

土 木 研 究 所 資 料

第 535 号

表層地盤における振動伝播の実測

—— 関屋分水堰抗打時の振動 ——

昭和 44 年 9 月

建設省土木研究所振動研究室

比較的広範囲にわたって均一な砂地盤が広がる新潟市において、衝撃荷重による表層地盤の振動の実測を行った。この測定は表層地盤を伝播する波動の特性を知ろうとするもので、振動源からの距離による振動の減衰状況、波動伝播速度など、地震時における地盤振動の解析を行う際に必要となる地盤の動力学的性質に関する実際の資料を入手すると共に工事に伴う振動の住家に及ぼす影響を検討した。

なお、この実測調査は、北陸地方建設局旧信濃川工事事務所が関屋分水路事業の一環として、新潟市関屋地点に建設中である可動堰の杭打ち工事に際して実施されたものである。

ま え が き

最近、土木構造物の耐震設計に関連して、地震時における構造物の動的挙動の解析が頻繁に行なわれるようになってきた。この際、構造物の基礎周辺の地盤を如何なる力学系に置換して解析を行うかが重要な問題となる。

本調査は、地震時における地盤振動を解析する際に必要となる地盤の動力学的性質に関する資料を得ると共に工事に伴う振動の住家に及ぼす影響を検討するために実施したもので、関係部局の御要望のもとに、北陸地方建設局管内の関屋分水堰建設工事現場において、鋼管杭打込時の振動測定を行なった結果を報告するものである。

なお本測定の実施にあたっては同地建旧信濃川工事事務所の方々の御協力を得たことをここに記すと共に、深く感謝の意を表するものである。

本振動測定ならびに報告書の作成は、土木研究所構造橋梁部振動研究室所属の以下の者が担当した。

総 括	室 長	栗 林 栄 一
試験計画、試験及び報告	研 究 員	岩 崎 敏 男
試験詳細計画及び試験	研究補助員	若 林 進
試験及び資料解析	"	斉 藤 俊 三
"	"	福 田 富 三
"	"	森 山 英 一
"	"	高 場 正 富

昭和44年4月9日

建設省土木研究所振動研究室

岩	崎	敏	男
森	山	英	一

目 次

要 旨

まえがき

I 測定計画	1
I-1 関屋分水路の機能と概要	1
I-2 振動測定区域の概況	2
I-3 地盤の概況	3
I-4 杭打ちの概要	5
①杭打ち機 ②試験杭 ③杭の打ち込み成果	
I-5 測定方法	9
①測定方法 ②測定条件 ③測定計器	
II 測定結果	12
II-1 杭の打ち込み深さと振動の関係	12
II-2 杭の打ち込み点からの距離と振動の関係	19
II-3 杭の歪	25
あとがき	26

附 録

振動の影響と許容値

1. 振動の影響
2. 振動の許容値

I 測定計画

I-1 関屋分水路の機能と概要

関屋分水路は新潟市内を流れる旧信濃川（大河津分水より下流を旧信濃川と称している）の現河口より9km西方に位置しており、その工事計画は新水路を開削して、旧信濃川の洪水を直接日本海に放流しようとするものであって、その河口部に水位、流量調節を主目的とした可動堰を設けるものである。

本事業は昭和42年度に北陸地建、旧信濃川工事事務所によって工事が着工され、昭和46年通水を目途に事業が進められている。

附近の概略図を図-1に示す。

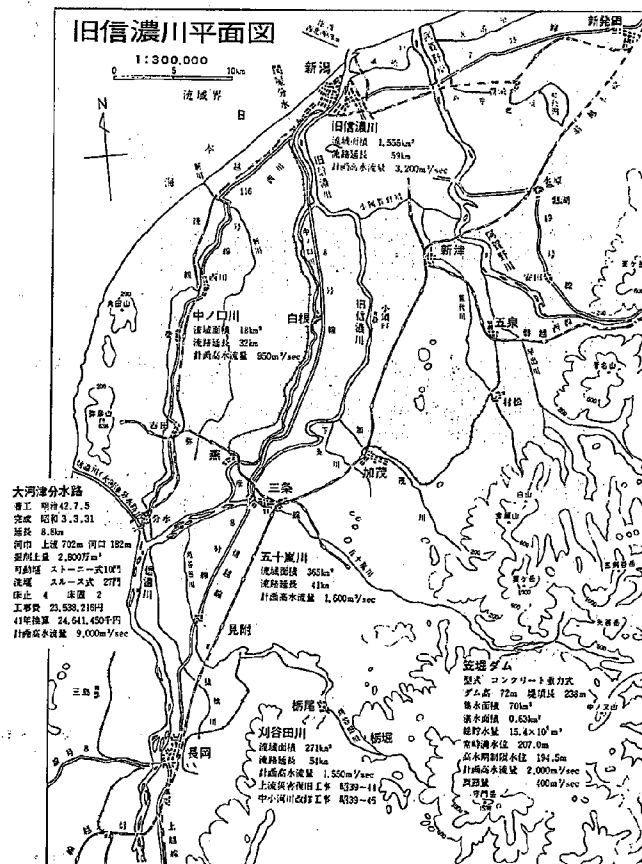


図-1 旧信濃川平面図

I - 2 振動測定区域の概況

振動を測定した区域は図-2に示すように可動堰の構築が予定されている地点を中心に行なわれた。測定は河流方向に沿って測点が設けられたA-A線上と、河流直角方向に沿って測点が設けられたB-B線上で行なわれ、図-3に両者の断面図を記載した。杭打ち地点より150~200mの範囲内には民家が散在しており、振動測定は民家附近(図-2のA、B、C地区)についても行なわれた。

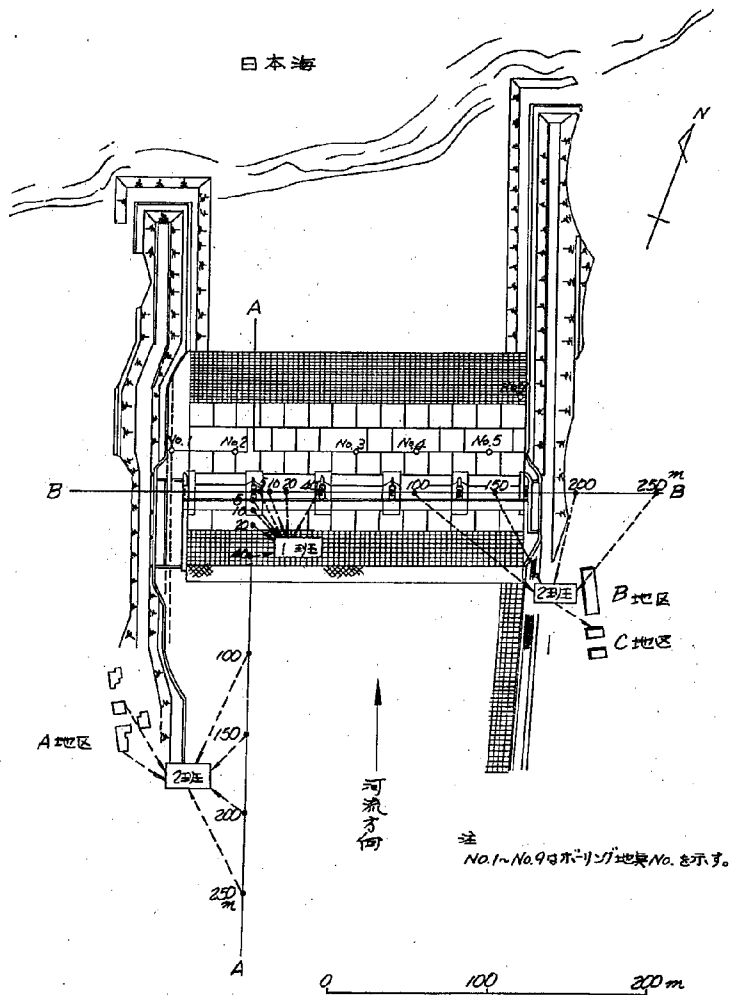


図-2 測定区域平面図

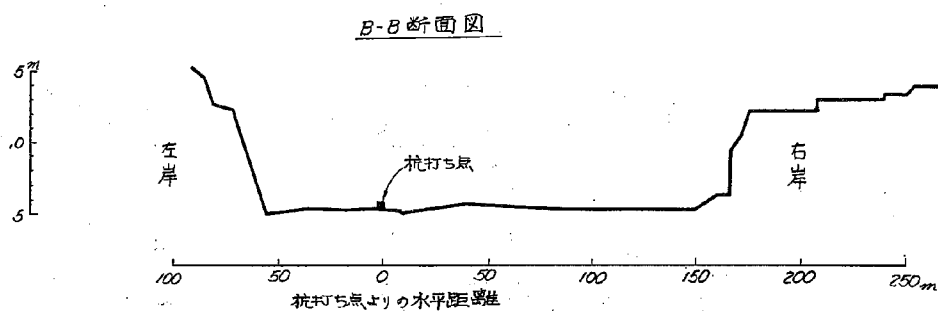
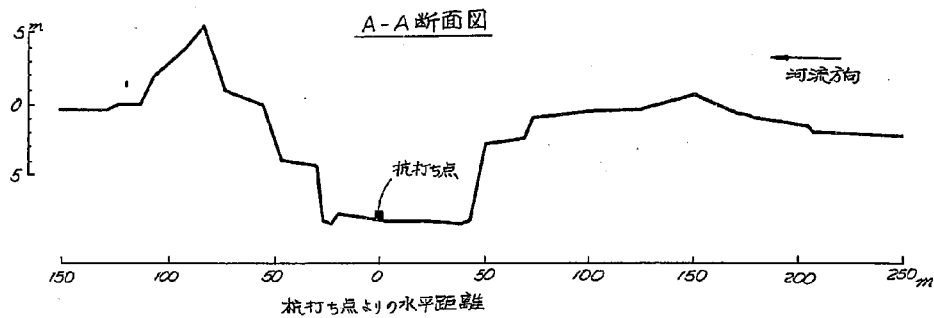


図-3 A-A, B-B断面図

I-3 地盤の概況

可動堰構築予定地である中下流部（掘削箇所）は砂丘地で、平均粒径 0.2 mm 程度の均質な砂で構成され、比較的大きな N 値を示している。

図-4に推定土層断面図を示す。

注:ボーリング地点No.の位置は図2に明記

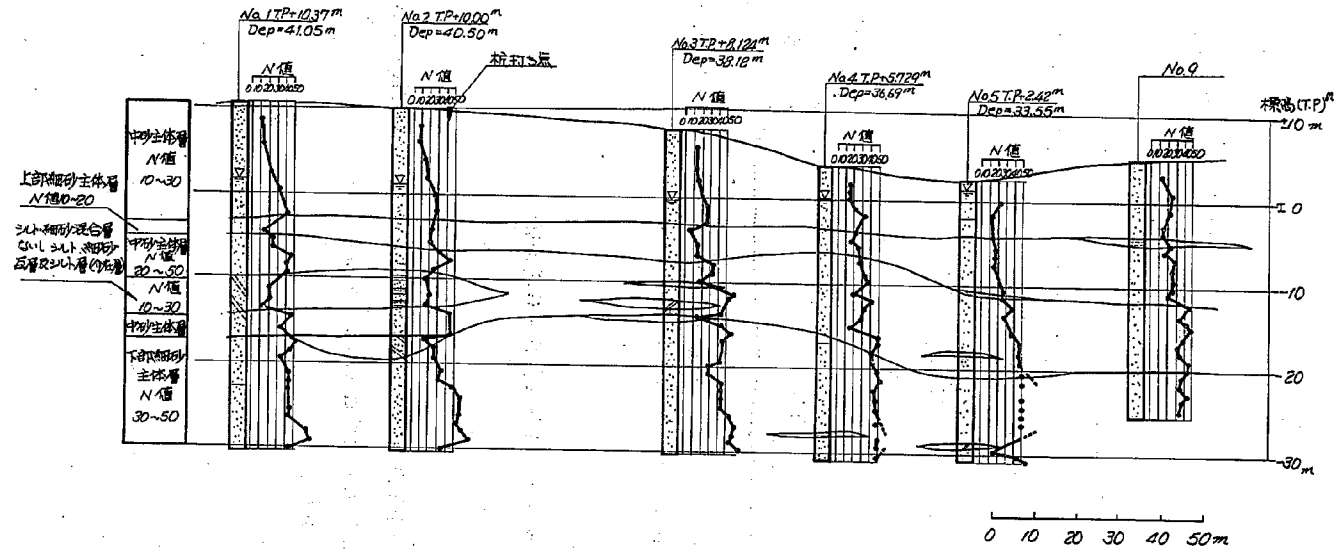


図-4 推定土層断面図

I-4 杭打ちの概要

① 杭打ち機

使用した杭打ち機は石川島播磨重工KK製ディーゼルパイルハンマーIDH40であり、次にその仕様を示す。

製作会社	石川島播磨重工工業	打撃回数	50~60 blow/min
型式	IDH40	1打撃の仕事量	1,000 Kg・m
冷却方式	空冷	最大爆発力	127 t
全長	4,252 mm	燃料消費量	22 ℓ/hr
幅	810 mm	潤滑油消費量	2.9 ℓ/hr
奥行	1,072 mm	燃料タンク容量	65 ℓ
全重量	9,570 Kg	潤滑油溜容量	15 ℓ
ラム重量	4,000 Kg	冷却水溜容量	—

表・1. 杭打機仕様

② 試験杭

使用した試験杭はJISA-5525鋼管杭であり、寸法については図-5に示すとおりである。

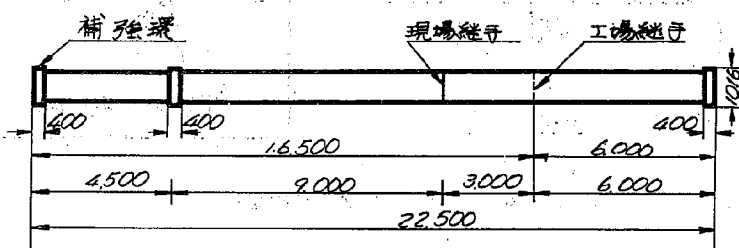
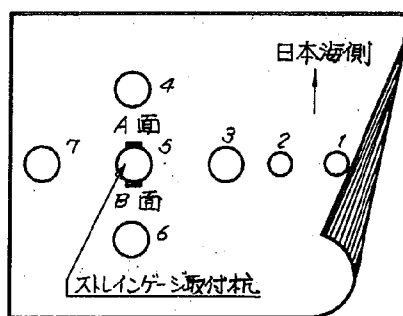


図-5 試験形状寸法

Technical drawing of a pile (杭 No. 5) showing dimensions and section views. The pile is 15,000 units long. It has a 1,400 unit section at the top, followed by a section with 16 @ 1,000 spacing (16,000 units), and a 9,000 unit section at the bottom. The pile is divided into sections for testing: '種荷試験時地切' (Soil cut during load test) at the top, '種荷試験時地留' (Soil retention during load test) in the middle, and '種荷試験時地切' (Soil cut during load test) at the bottom. The pile is labeled '杭 No. 5'. Section views A and B are indicated at the bottom.



③ 杭の打ち込み成果

図中、打撃回数とは杭を1 m打ち込むのに要する杭打ちの打撃回数を示しているものであり、平均貫入量とは所要の深度における1回の杭打ち込みにおける貫入量を示すものである。

昭和43年8月18日実施

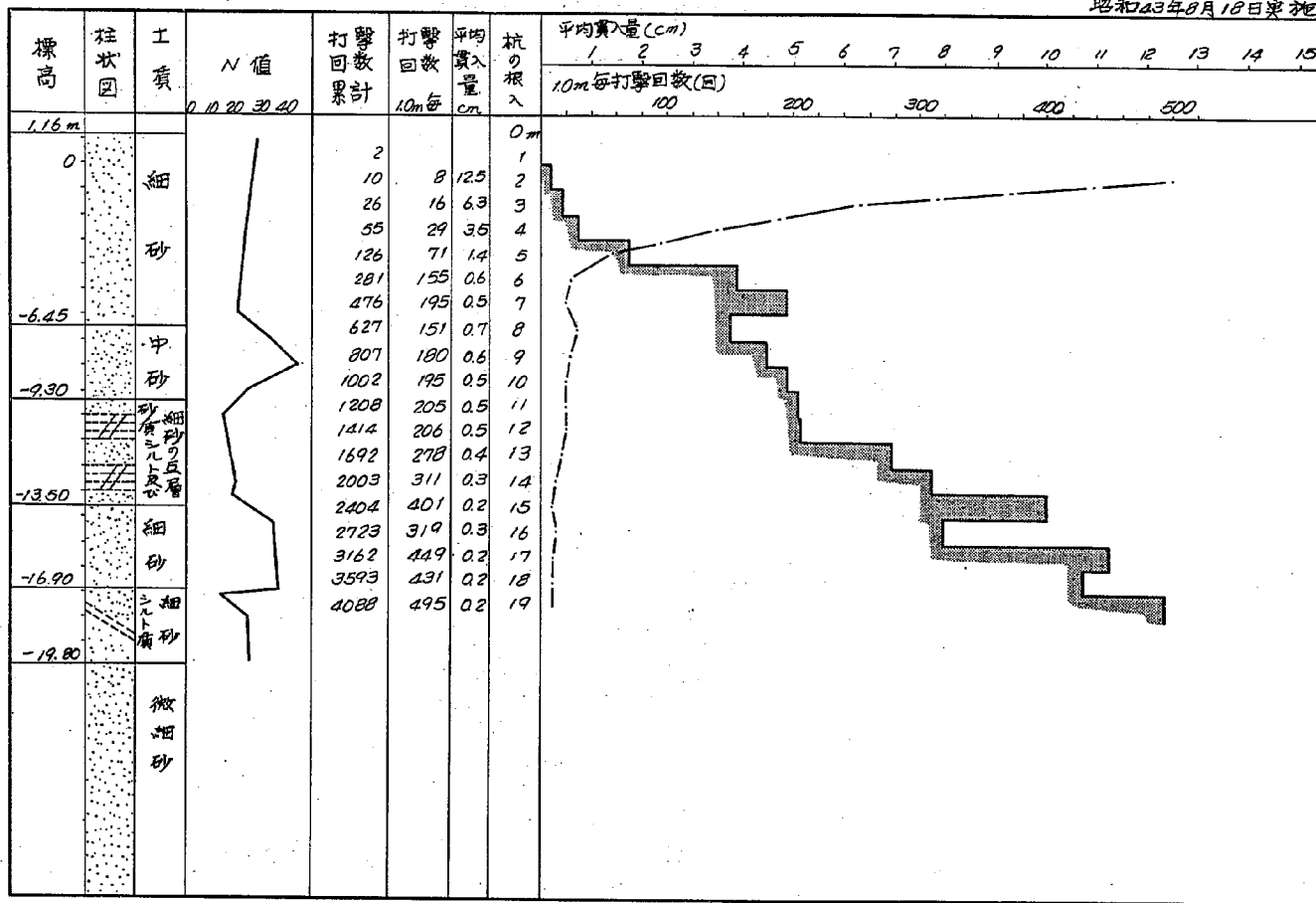
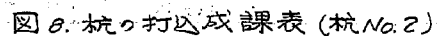


図7. 杭の打込成績表 (杭 No.1)



I-5 測 定

① 測定方法

振動測定に使用したピックアップは抵抗線式加速度計、電磁式速度計の3種であり、鉛直方向、水平方向の全成分を直記式電磁オッシログラフに記録した。

図-9に測定ブロック図を示す。

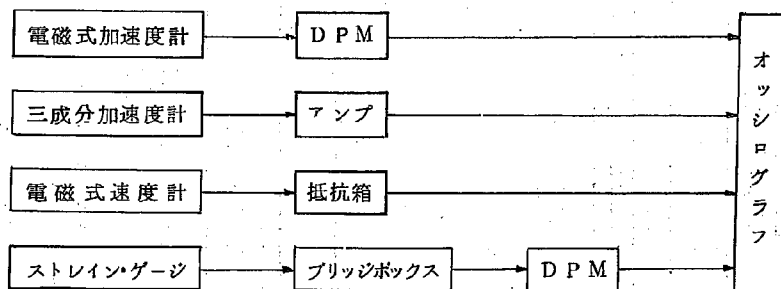


図-9 測定ブロック図

② 測定

測線は杭打ち点を中心として河流方向(A-A測線)、河流直角方向(B-B測線)の直線上、ならびに近隣家屋周辺の地盤上とし、計器を直接設置して測定を行った。

第1回測定

日 時：昭和43年8月18日

杭 : Ⅱ1

測定点：第1班は河流(上流)方向に沿って、杭打ち点から5m、10m、20m、40mの地点、第2班は同じく100m、150m、200m、250mの地点と左岸民家周囲

第2回測定

日 時：昭和43年8月19日

杭 : Ⅱ2

測定点：第1班は河流直角(右岸)方向に、杭打ち点から5m、10m、20m、40mの地点の振動と杭の歪。第2班は同じく100m、150m、200m、250mの地点と右岸、アパートおよび民家周囲。

関屋分水堰杭打振動

43年8月18, 19日

杭	日時	杭深さ (m)	オシロ No	計 算	成分 数	第 1 班	オシロ No	計 算	成分 数	第 2 班	
						計器位置方向				計器位置方向	
No1	11:00	1.5	1	*	9	上流へ向い 5m地点 (V, L) (K) 10 " (V, L) (K) 20 " (V, L, A) (T) 40 " (V, L) (T)	1	*	9	上流へ向い 100m地点 (T) 150m " (T) 200 " (T)	
		3.0			9				9		
		4.5			9				9		
		6.0			9				9		
		7.5			9				9		
		8.4			9				9		
		8.5			9				9		
		9.0			10				*		9
		10.5			10				*		9
		11.5			10				*		9
		12.0			10				*		9
		13.5			10				*		9
		14.5			10				*		9
		15.0			11				*		9
	15.2	11	*	9							
	16.5	11	*	9							
	17.1	11	*	9							
	43 年 8 月 18 日	17.2	2	*	11	同上 杭歪 (杭先) A-1	2	*	9	上流へ向い 100m, 150m, 250m " " 200m " " 250m " " 200m " " 250m	
		18.0			11				9		
		19.2			11				9		
		19.3			11				9		
19.3		11			9						
19.3		11			9						
19.3		11			9						
18:00	19.3	4	*	10	同上 杭歪 (杭頭) A-17	3	*	9	" " "		
No2	15:00	1.5	5	*	9	右岸へ向い 5m地点 (V, T) 10 " (V, T) 20 " (V, T, L) 40 " (V, T)	4	*	9	右岸へ向い 100m地点 150 " 200 "	
		2.0			9				9		
		3.0			9				9		
		4.5			9				9		
		6.0			9				9		
		7.5			9				9		
		8.0			9				9		
		9.0			9				9		
		10.5			9				9		
		12.0			9				9		
		12.9			9				9		
		13.5			9				9		
		15.0			9				9		
		16.5			9				9		
	16.9	9	9								
	17.1	9	9								
	17.3	9	9								
	43 年 8 月 19 日	17.4	6	*	9	同上 杭歪 (杭先) A-1	6	*	9	同上 杭歪 (杭先) A-1	
		18.3			9				9		
		18.9			9				9		
		19.1			9				9		
19.1		9			9						
19.1		9			9						
19.1		9			9						
19:25	19.1	8	*	9	同上 杭歪 (杭頭) A-17	5	*	9	" " "		
19:25	18.9	8	*	9	右岸へ向い 5m地点 (L, T) 10 " (L, T) 20 " (V, L, T) 40 " (V, L, T)	5	*	9	右岸へ向い 100m, 150m, 250m " " 200m " " 250m " " 200m		
	19.1			9				9			
	19.1			9				9			
	19.1			9				9			
	19.1			9				9			
	19.1			9				9			
	19.1			9				9			
	19.1			9				9			
	19.1			9				9			
	19.1			9				9			
	19.1			9				9			
	19.1			9				9			
	19.1			9				9			
	19.1			9				9			
19:25	19.1	8	*	9	同上 杭歪 (杭頭) A-17	5	*	9	" " "		

(1) 注) *…本資料における計算結果

(2) V…鉛直方向 T…河流直方向 (K)…抵抗線式加速度計 (H)…速度計
L…河流方向 (T)…3成分加速度計

(3) 第2班の計測については全て3方向の計測を行なった

表-2 振動実験計測概要

② 測定計器

測定に使用した計器は次の通りである。

計 器 名	記 事	使用台数
3成分加速度計	東京振動製 TM-3 型, 電磁式	6
同 用 ア ン プ	東京振動製	3
共和製加速度計	共和電業製 120A-2D 型 (非接着抵抗線型)	5
D P M	共和電業製, 動的歪測定器	2
電磁式速度計	保坂振動製, 水平動, 固有周期 1 sec	4
"	" 鉛直動 "	4
地震計用抵抗箱	保坂振動製	4
直記式電磁 オシログラフ	横河電機製, 素子数 12	2
ストレインゲージ	共和電業製, KP6A1	6
ブリッジボックス	共和電業製, DB-120D	6

表-3 計 測 機 器

Ⅱ 測定結果

オシログラフより得られた記録から

① 杭の打ち込み深さ

② 杭の打ち込み点からの距離

の2つに分類して加速度，振動数，振巾，振動速度および振動の発生時刻を求めた。

杭打ちによる各測点での測定結果は次に示すとおりである。

振動波形状況を示すと

杭打ち深さ12.9 mの振動波形 図-10

杭打ち深さ15.0 mの振動波形 図-11

杭打ち深さ16.5 mの振動波形 図-12

これら記録より加速度，振動数，振巾，振動速度，振動変位を求めその結果を以下に示す。

Ⅱ-1 杭の打ち込み深さと振動の関係

測定結果を次表に示す。

第1回測定 20 m地点の振動結果 表-4

同 100 m " 表-5

第2回測定 20 m地点の振動結果 表-6

同 100 m " 表-7

さらに上表の測定数値を整理したものが次の図である。

杭の打ち込み深さと加速度の関係図

第1回測定 図-13

第2回測定 図-14

杭の打ち込み深さと振巾の関係図

20 m地点 図-15

100 m地点 図-16

杭打ち深さ 129 m, № 2 杭, 測定第 1 班, S43.8.19

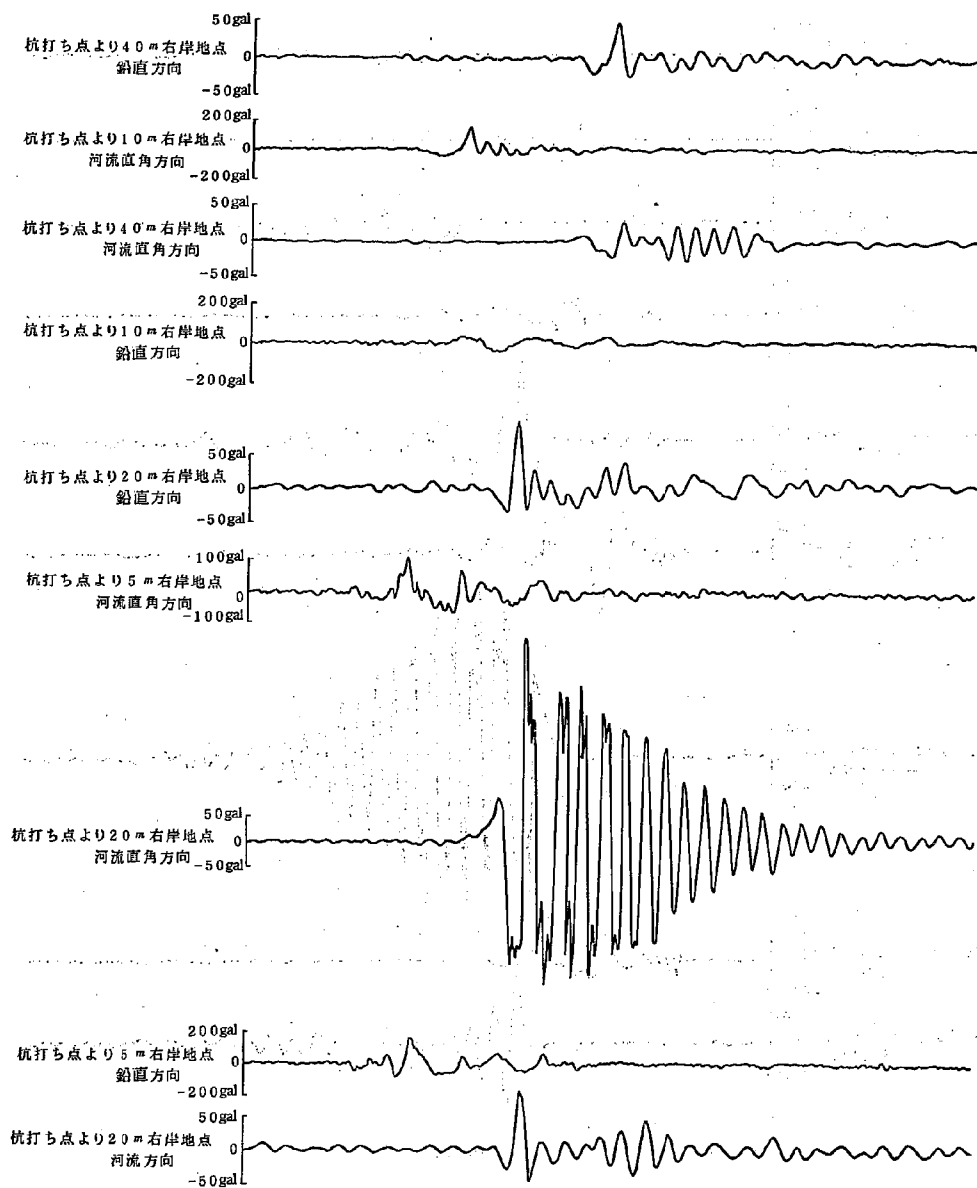


図-10

杭打ち深さ15.0m, 底2杭, 測定第1班, S43.8.19

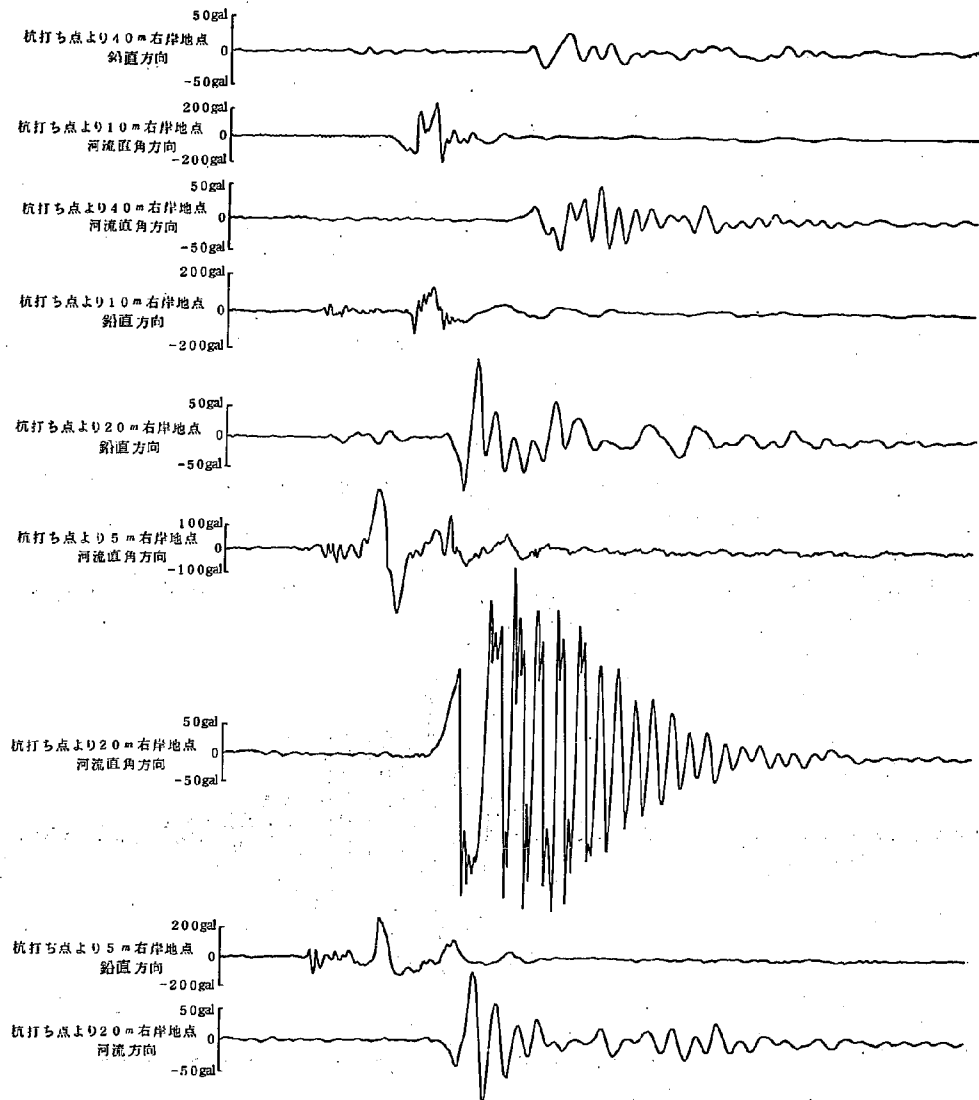


図-11

杭打ち深さ165m, №2杭, 測定第2班, S43.8.19

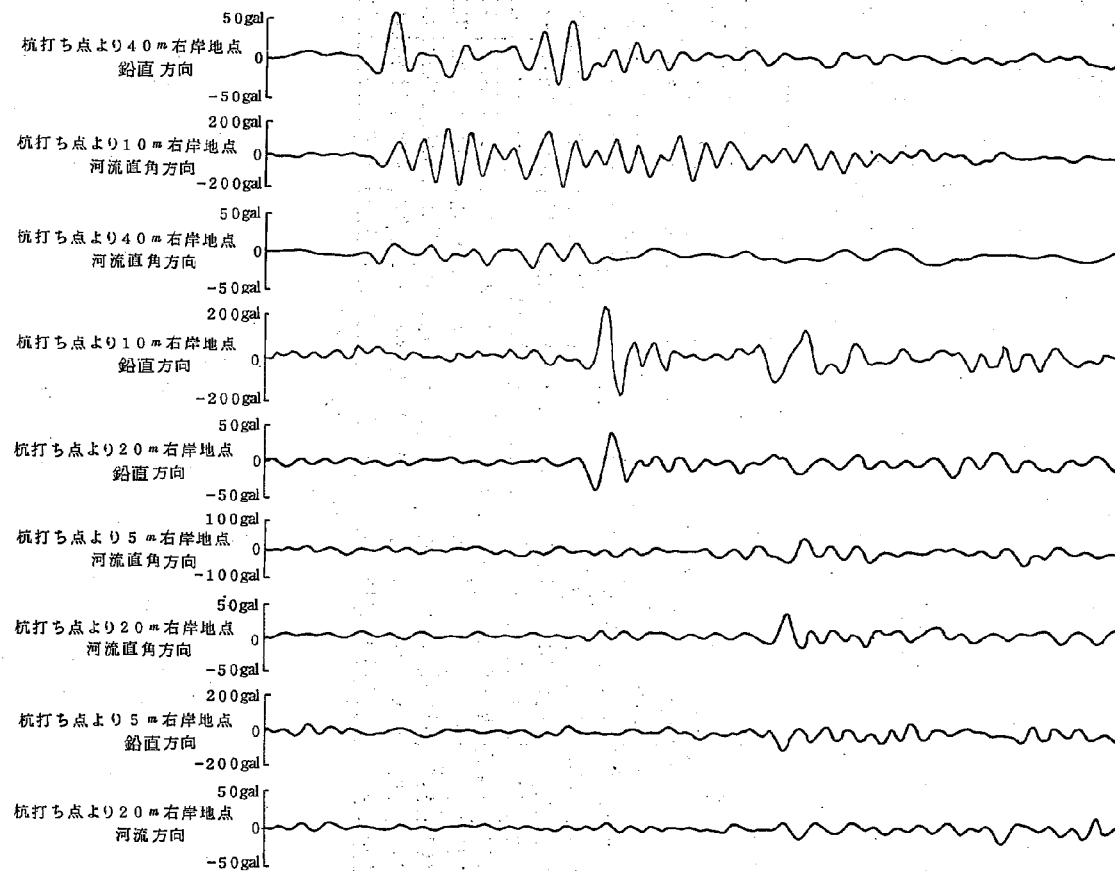


図-12

杭No. 1 20 m地点における測定結果												
深度 (m)	鉛直方向				河 流 方 向				河 流 直 角 方 向			
	加速度a (gal)	振動数f (c/s)	速度v (mm/s)	変位d (mm)	加速度a (gal)	振動数f (c/s)	速度v (mm/s)	変位d (mm)	加速度a (gal)	振動数f (c/s)	速度v (mm/s)	変位d (mm)
6.0	112.0	37.3	4.78	0.0204	306.2	25.6	19.0	0.118	137.8	37.3	5.88	0.0427
10.5	139.2	40.3	5.50	0.0217	216.6	47.2	7.31	0.0247	170.4	35.7	7.60	0.0339
15.0	78.5	36.1	3.46	0.0153	264.6	45.1	9.34	0.0330	171.8	36.1	7.58	0.0441
16.5	70.8	40.4	2.81	0.0111	—	—	—	—	132.1	24.0	8.76	0.0582
17.1	95.9	37.0	4.15	0.0180	—	—	—	—	177.4	37.0	7.63	0.0329
17.2	134.0	47.6	4.51	0.0152	226.5	37.0	9.75	0.0420	245.6	46.3	8.45	0.0291
18.0	94.0	47.1	3.20	0.0109	222.3	38.8	9.12	0.0374	231.0	33.0	11.15	0.054
19.2	120.5	46.1	4.19	0.0146	206.8	28.3	11.64	0.065	304.2	24.3	19.93	0.0655
19.3	133.0	50.5	4.22	0.0134	211.9	25.9	13.03	0.080	241.7	47.6	8.09	0.0335

表-4 杭No. 1 20 m地点

杭No. 2 100 m地点における測定結果												
深度 (m)	鉛直方向				河 流 方 向				河 流 直 角 方 向			
	加速度a (gal)	振動数f (c/s)	速度v (mm/s)	変位d (mm)	加速度a (gal)	振動数f (c/s)	速度v (mm/s)	変位d (mm)	加速度a (gal)	振動数f (c/s)	速度v (mm/s)	変位d (mm)
3.0	16	37.9	0.067	2.8×10^{-4}	245	37.9	0.103	4.3×10^{-4}	283	424	0.106	4.0×10^{-4}
6.0	130	263	0.787	4.77×10^{-3}	230	342	1.07	5.0×10^{-3}	981	357	0.440	1.95×10^{-3}
9.0	131	287	0.727	4.03×10^{-3}	144	281	0.816	4.6×10^{-3}	769	316	0.388	1.95×10^{-3}
12.0	116	258	0.716	4.42×10^{-3}	248	333	1.186	5.67×10^{-3}	1120	263	0.678	4.1×10^{-3}
15.2	120	313	0.611	3.1×10^{-3}	278	357	1.240	5.5×10^{-3}	980	250	0.624	4.0×10^{-3}
16.5	140	342	0.652	3.0×10^{-3}	248	313	1.260	6.4×10^{-3}	1180	325	0.578	2.83×10^{-3}
17.1	196	325	0.960	4.7×10^{-3}	248	281	1.410	7.96×10^{-3}	1540	268	0.666	2.88×10^{-3}
17.2	204	417	0.779	2.97×10^{-3}	338	410	1.310	5.1×10^{-3}	1640	403	0.648	2.56×10^{-3}
18.0	123	385	0.509	2.1×10^{-3}	258	298	1.380	7.37×10^{-3}	1470	424	0.552	2.07×10^{-3}
19.3	140	379	0.588	2.47×10^{-3}	269	301	1.420	7.53×10^{-3}	2160	439	0.783	2.84×10^{-3}

表-5 杭No. 1 100 m地点

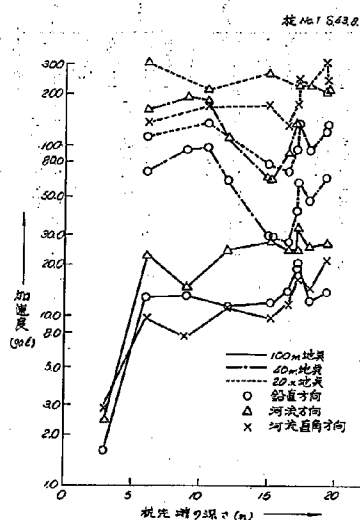


図-13 杭の打込み深さと加速度の関係

杭No. 2 20 m地点における測定結果												
深度	鉛直方向				河 流 方 向				河 流 直 角 方 向			
	加速度a (gal)	振動数f (c/s)	速度v (mm/s)	変位d (mm)	加速度a (gal)	振動数f (c/s)	速度v (mm/s)	変位d (mm)	加速度a (gal)	振動数f (c/s)	速度v (mm/s)	変位d (mm)
3.0	242	13.3	29.0	0.035	23.7	21.1	1.79	0.0135	22.8	16.9	2.15	0.0202
6.0	133.7	43.1	49.4	0.0182	44.2	20.0	3.52	0.0280	181.1	45.5	6.34	0.0222
9.0	112.5	41.7	43.0	0.0164	55.4	39.1	2.26	0.0092	187.9	48.1	6.22	0.0206
12.0	105.0	42.0	3.98	0.0151	98.3	37.6	4.16	0.0176	—	—	—	—
15.0	109.3	41.7	4.17	0.0159	102.6	35.7	4.58	0.0204	—	—	—	—
16.5	110.9	41.7	42.3	0.0162	144.7	35.7	6.45	0.0288	—	—	—	—
17.3	101.2	45.5	3.54	0.0124	132.9	45.5	4.65	0.0163	—	—	—	—
17.4	12.77	41.7	4.88	0.0186	189.7	35.7	8.46	0.0377	—	—	—	—
18.3	97.4	41.7	3.72	0.0142	175.7	39.7	7.05	0.0283	—	—	—	—
19.1	77.5	38.5	3.21	0.0133	141.1	38.5	5.84	0.0241	—	—	—	—

表-6 杭No. 2 20 m地点

杭No. 2 100 m地点における測定結果												
深度 (m)	鉛直方向				河 流 方 向				河 流 直 角 方 向			
	加速度a (gal)	振動数f (c/s)	速度v (mm/s)	変位d (mm)	加速度a (gal)	振動数f (c/s)	速度v (mm/s)	変位d (mm)	加速度a (gal)	振動数f (c/s)	速度v (mm/s)	変位d (mm)
3.0	3.6	13.9	0.412	4.7×10^{-3}	2.0	7.8	0.408	8.34×10^{-3}	4.0	132	0.483	5.8×10^{-3}
6.0	9.6	192	0.796	6.6×10^{-3}	8.4	14.7	0.910	9.86×10^{-3}	14.8	200	1.178	9.4×10^{-3}
10.5	4.4	35.7	0.196	8.8×10^{-3}	7.8	38.5	0.323	1.33×10^{-3}	8.8	38.5	0.364	1.51×10^{-3}
12.0	4.4	192	0.365	3.03×10^{-3}	6.0	27.8	0.344	1.97×10^{-3}	12.4	27.8	0.710	4.07×10^{-3}
15.0	4.4	13.9	0.504	5.77×10^{-3}	6.8	41.7	0.260	9.9×10^{-3}	10.0	25.0	0.637	4.1×10^{-3}
18.3	7.0	31.3	0.356	1.81×10^{-3}	14.0	33.3	0.669	32×10^{-3}	16.0	26.3	0.969	5.87×10^{-3}
19.1	7.2	31.3	0.366	1.86×10^{-3}	15.4	35.7	0.687	3.06×10^{-3}	17.2	35.7	0.767	3.42×10^{-3}

表-7 杭No. 2 100 m地点

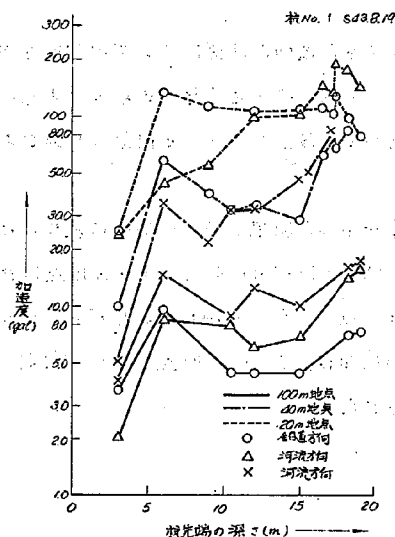


図-14 杭の打込み深さと加速度の関係

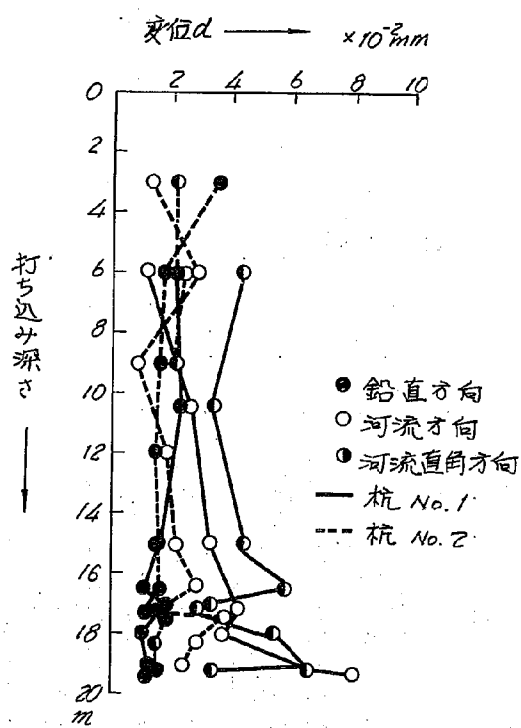


図-15 20m地点における
杭の打ち込み深さと変位の関係

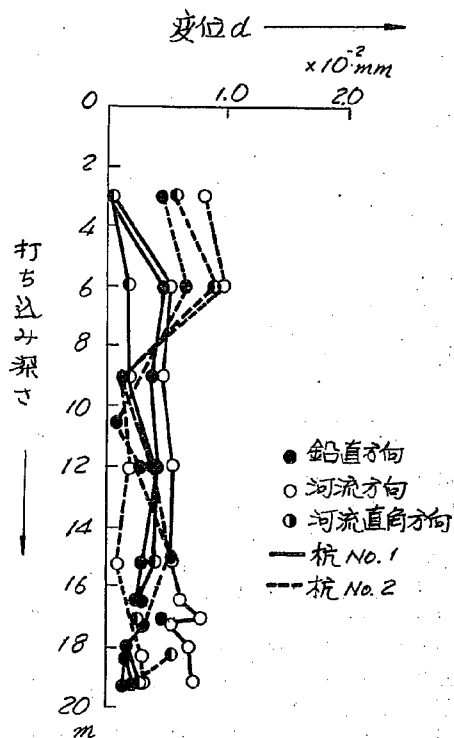


図-16 100m地点における
杭の打ち込み深さと変位の関係

以上の結果より杭の打ち込み深さと振動の関係についての傾向を見ると

- ① 杭の打ち込み深さの小さいうちは、打ち込み深さの増大とともに加速度は増加するが、6mを経過した後は加速度がやゝ減少し、15m附近より再び増加するという傾向が見られた。
- ② 打ち込み深さと変位の関係を示した結果より、一般的に変位は杭の打ち込み深さに関係なく、20m地点においては0.02~0.04mm、100m地点においては0.005mm付近に集中しているという傾向が見られた。しかし僅かながら20m地点においては杭の打ち込み深さに伴って振巾が増加し、100m地点においては打ち込み深さとともに減少しているという傾向が見られた。

Ⅱ-2 杭の打ち込み点からの距離と振動の関係

波動伝播速度に関する図表を次に示す。

距離と振動発生時刻の関係	表-8
波動伝播速度図	図-17

距離と振動測定結果に関する図表を次に示す。

杭 ₁ の距離と測定結果の関係	表-9
杭 ₁ の距離と加速度の関係図	図-18
杭 ₁ の距離と変位の関係図	
鉛直方向	図-19
河流直角方向	図-20
河流方向	図-21
杭 ₂ の距離と測定結果の関係	表-10
杭 ₂ の距離と加速度の関係図	図-22
杭 ₂ の距離と変位の関係図	
鉛直方向	図-23
河流直角方向	図-24
河流方向	図-25

距離 (m)		深度 (m)	6.0	12.0	12.9	17.1
5.0	河 流	—	—	—	—	—
	河流直角	0.0 0sec	0.0 0sec	0.0 0sec	0.0 0sec	0.0 0sec
	鉛 直	0.0 0	0.0 0	0.0 0	0.0 0	0.0 0
10.0	河 流	—	—	—	—	—
	河流直角	0.0 34	0.0 59	0.0 54	0.0 47	0.0 47
	鉛 直	0.0 46	0.0 40	0.0 47	0.0 50	0.0 50
20.0	河 流	0.1 00	0.1 88	0.1 20	0.1 27	0.1 27
	河流直角	0.1 25	—	—	—	—
	鉛 直	0.2 00	0.1 00	0.1 13	0.1 10	0.1 10
40.0	河 流	—	—	—	—	—
	河流直角	0.2 03	0.2 15	0.2 29	0.2 17	0.2 17
	鉛 直	0.2 12	0.2 05	0.2 17	0.2 00	0.2 00
100.0	河 流	1.0 5	0.5 80	0.5 00	0.4 95	0.4 95
	河流直角	0.9 04	0.5 18	0.5 04	0.5 04	0.5 04
	鉛 直	1.1 54	0.6 80	0.4 97	0.4 92	0.4 92
150.0	河 流	1.0 62	0.7 26	0.7 15	0.7 12	0.7 12
	河流直角	1.1 00	0.7 35	0.7 24	0.7 19	0.7 19
	鉛 直	1.1 74	0.9 2	0.9 07	0.9 07	0.9 07
200.0	河 流	—	1.0 7	0.9 00	0.8 92	0.8 92
	河流直角	—	1.2 87	0.9 04	0.9 09	0.9 09
	鉛 直	—	1.4 80	1.0 27	0.8 87	0.8 87

5 m 地点を規準時間 = 0 とした

表 - 8 距離と振動発生時刻の関係

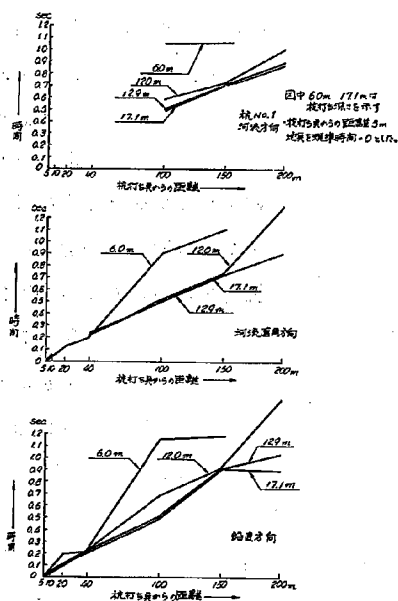


図 - 17 波動伝播速度図

距離 (m)	杭打ちの 深さ(m)	1 6.5				1 7.1				1 7.2				計 器 配置換
		最大加速度 (gal)	振動数 (c/s)	速 度 (mm/s)	変 位 (mm)	最大加速度 (gal)	振動数 (c/s)	速 度 (mm/s)	変 位 (mm)	最大加速度 (gal)	振動数 (c/s)	速 度 (mm/s)	変 位 (mm)	方 向
5	鉛 直	99.6	30.6	5.18	0.052	114.7	30.3	6.03	0.032	158.7	58.8	4.298	0.0116	河流直角 河 流
	河 流	199.2	27.3	11.62	0.068	140.5	38.5	5.81	0.024	212.0	43.5	7.760	0.0284	
10	鉛 直	76.9	34.8	3.52	0.0161	45.8	32.3	2.26	0.011	39.5	60.2	1.045	0.0028	河流直角 河 流
	河 流	95.6	53.2	28.6	0.0086	74.6	52.6	2.26	0.0068	138.7	64.1	3.446	0.0086	
20	鉛 直	70.8	40.4	2.79	0.0110	47.9	37.0	2.06	0.0089	134.0	47.6	4.483	0.0150	鉛 直 河流直角 河 流
	河流直角	132.1	24.0	8.76	0.0582	88.6	37.0	3.81	0.0164	245.6	46.3	8.447	0.0290	
	河 流	-	-	-	-	-	-	-	-	226.5	37.0	9.748	0.0420	
40	鉛 直	26.7	34.8	1.22	0.0056	20.7	40.0	0.82	0.0033	61.2	35.7	2.730	0.0122	鉛 直 河流直角
	河 流	46.6	28.9	2.57	0.0141	70.0	31.3	3.56	0.0181	43.5	43.5	1.592	0.0058	
100	鉛 直	14.0	34.2	0.65	0.0030	19.6	32.5	0.96	0.0047	20.4	41.7	0.779	0.0030	
	河流直角	11.8	32.5	0.58	0.0028	15.4	36.8	0.666	0.0029	16.4	40.3	0.648	0.0026	
	河 流	24.8	31.3	1.26	0.0064	24.8	28.1	1.410	0.0080	33.8	41.0	1.313	0.0051	
150	鉛 直	9.3	37.9	0.39	0.0016	15.1	38.5	0.625	0.0026					
	河流直角	7.4	33.3	0.35	0.0017	12.4	47.1	0.419	0.0014					
	河 流	15.2	36.2	0.67	0.0029	26.9	39.1	1.095	0.0045					
200	鉛 直	-	-	-	-	38.0	39.1	1.548	0.0063					
	河流直角	-	-	-	-	5.5	37.3	0.235	0.0010					
	河 流	-	-	-	-	4.0	35.7	0.178	0.0008					
250	鉛 直	2.83	34.7	0.13	0.0006									
	河流直角	2.73	35.2	0.12	0.0006									
	河 流	2.68	38.5	0.11	0.0005									

表 - 9 杭 1 距離と測定結果の関係

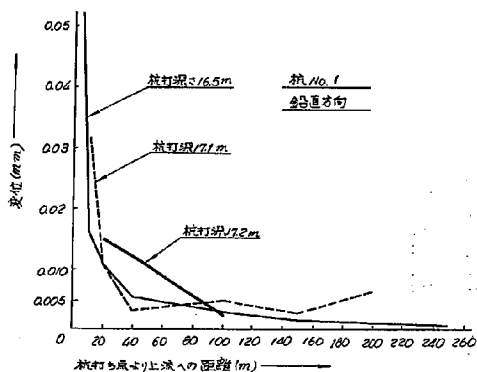


図-18 距離と加速度の関係

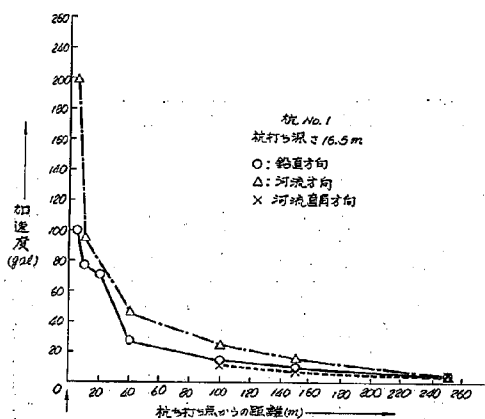


図-19 距離と変位の関係図

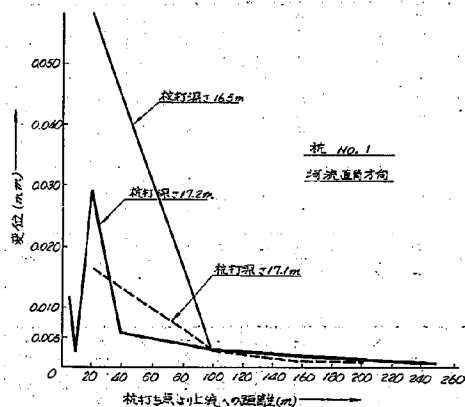


図-20 距離と変位の関係図

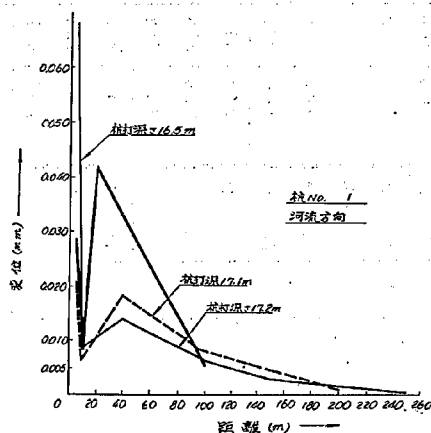


図-21 距離と変位の関係図

	杭打ちの 深さ (m)	1 5.0				1 6.5				1 7.3				1 7.4				計 器 配置換
		最 大 加速度 (gal)	振動数 (c/s)	速 度 (cm/s)	変 位 (cm)	最 大 加速度 (gal)	振動数 (c/s)	速 度 (cm/s)	変 位 (cm)	最 大 加速度 (gal)	振動数 (c/s)	速 度 (cm/s)	変 位 (cm)	最 大 加速度 (gal)	振動数 (c/s)	速 度 (cm/s)	変 位 (cm)	方 向
5	鉛 直	195.9	15.6	2.000	2.04×10^{-2}	173.6	13.9	1.989	2.28×10^{-2}	138.0	16.7	1.316	1.26×10^{-2}	116.1	38.5	0.480	1.99×10^{-3}	河 流 河流直角
	河流直角	255.2	13.9	2.924	3.35×10^{-2}	205.8	16.7	1.962	1.87×10^{-2}	164.6	20.0	1.311	1.04×10^{-2}	168.8	16.7	1.610	1.54×10^{-2}	
10	鉛 直	126.3	13.9	1.447	1.66×10^{-2}	70.9	12.5	0.903	1.15×10^{-2}	58.8	13.9	0.674	7.72×10^{-3}	119.4	50.0	0.380	1.21×10^{-3}	河 流 河流直角
	河流直角	223.3	31.2	1.140	5.82×10^{-3}	139.3	35.7	0.621	2.77×10^{-3}	129.7	35.7	0.579	4.46×10^{-3}	59.5	34.7	0.273	1.25×10^{-3}	
20	鉛 直	109.3	41.7	0.417	1.59×10^{-3}	110.9	41.7	0.424	1.62×10^{-3}	101.2	45.5	0.354	1.24×10^{-3}	127.7	41.7	0.488	1.86×10^{-3}	鉛 直 河 流 河流直角
	河流直角	-	48.1	-	-	-	45.5	-	-	-	45.5	-	-	-	35.7	-	-	
40	河 流	102.6	35.7	0.458	2.04×10^{-3}	144.7	35.7	0.645	2.88×10^{-3}	132.9	45.5	0.465	1.63×10^{-3}	189.7	45.5	0.664	2.32×10^{-3}	鉛 直 河 流 河流直角
	河流直角	28.6	45.5	0.100	3.50×10^{-4}	61.9	35.7	0.276	1.23×10^{-3}	76.6	45.5	0.268	9.38×10^{-4}	69.0	35.7	0.308	1.37×10^{-3}	
100	鉛 直	45.9	50.0	0.146	4.70×10^{-4}	56.6	50.0	0.180	5.74×10^{-4}	80.5	46.3	0.277	9.50×10^{-4}	43.9	50.0	0.140	4.45×10^{-4}	鉛 直 河 流
	河流直角	4.4	13.9	0.050	5.80×10^{-4}	6.8	27.8	0.039	2.23×10^{-4}									
150	河 流	10.0	25.0	0.064	4.10×10^{-4}	16.8	20.8	0.129	7.95×10^{-4}									
	河 流	6.8	41.7	0.026	9.9×10^{-5}	14.4	41.7	0.055	2.10×10^{-4}									
200	鉛 直	2.8	16.6	0.027	2.58×10^{-4}	7.0	20.8	0.054	4.10×10^{-4}									
	河流直角	8.8	14.8	0.095	1.02×10^{-3}	23.2	31.3	0.118	6.00×10^{-4}									
250	河 流	3.6	17.9	0.032	2.85×10^{-4}	15.0	33.3	0.071	3.40×10^{-4}									
	河 流	-	-	-	-	6.0	25.0	0.038	2.40×10^{-4}									
250	鉛 直	-	-	-	-	10.0	31.3	0.051	2.59×10^{-4}									
	河 流	-	-	-	-	12.0	33.3	0.057	2.74×10^{-4}									
250	鉛 直	2.8	22.7	0.020	1.38×10^{-4}	-	-	-	-									
	河 流	3.6	25.0	0.023	1.46×10^{-4}	-	-	-	-									

表-10 杭 2 距離と測定結果の関係

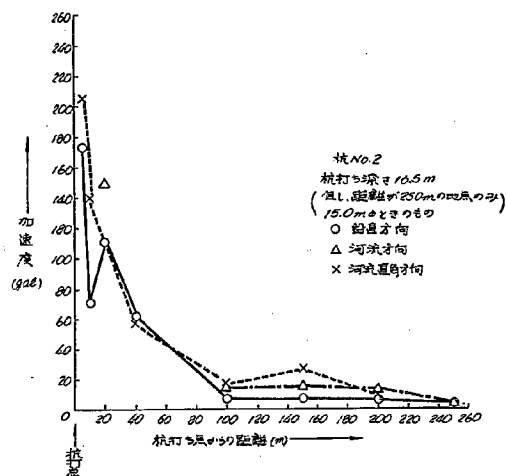


図-22 距離と加速度の関係図

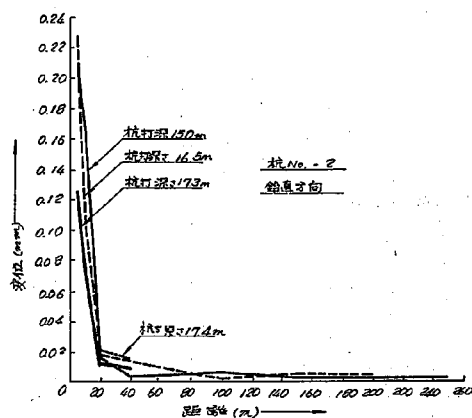


図-23 距離と変位の関係図

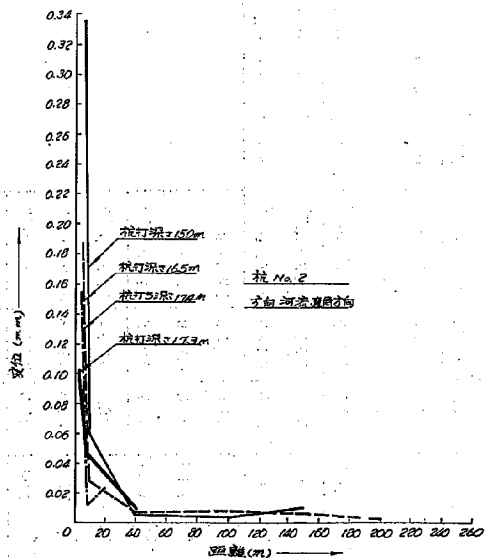


図-24 距離と変位の関係図

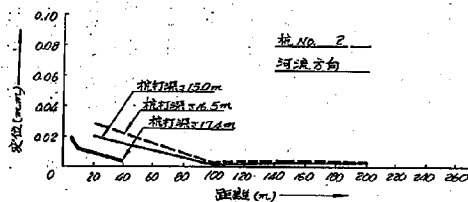


図-25 距離と変位の関係図

この結果より杭打ち点からの距離と振動の関係についての傾向をみると次のようである事がわかる。

- ① 加速度、振巾は距離が40 mまでは非常に減衰が大きい、40 m以上になれば減衰は小さくなる。
- ② 波動伝播速度は杭の打ち込み深さに関係なく水平方向に220 m/sec、上下方向に160 m/secであった。

II-3 杭の歪

No.1の杭についてのみ、杭の打ち込み時の歪みを測定した。

結果は表-11に示すとおりである。

ゲージ名 杭深度(m)	A-1 (mm)	A-5 (mm)	A-11 (mm)	A-13 (mm)	A-17 (mm)	備 考
9.0	1.08×10^{-4}	-	-	-	-	
12.0	0.80×10^{-4}	-	-	-	-	
15.2	0.76×10^{-4}	-	-	-	3.14×10^{-4}	
16.5	1.11×10^{-4}	-	-	-	2.95×10^{-4}	
17.1	0.93×10^{-4}	-	-	-	2.95×10^{-4}	
17.2	1.05×10^{-4}	-	-	-	3.53×10^{-4}	
18.0	0.89×10^{-4}	-	-	-	3.60×10^{-4}	
19.3	0.77×10^{-4}	1.77×10^{-4}	4.50×10^{-4}	2.35×10^{-4}	4.40×10^{-4}	

表-11 杭の歪測定結果一覧

今回の測定は横河電機製G-170Bガルバー(固有振動数170 c/s)を用いて行ったため、感度の低下の傾向がみられた。実際には上記の値よりかなり大きな歪が生じたものと推定される。歪が最大を示す附近の振動数はおよそ100 c/sである。

あ と が き

比較的均一な地盤における波動の伝播を測定し、その結果を資料として提供してきた。個々の現象に合理的な解釈を下すには至っていないが、その理念や手法についても今後検討し、上述の資料を活用していきたい。

なお末尾に附録として、振動の住家に及ぼす影響の判定結果について触れておいた。

参 考 文 献

- 1) 土木学会関西支部、「騒音・振動公害」。
- 2) 土木学会、「土木技術者のための振動便覧」。
- 3) 建設省北陸地方建設局旧信濃川工事事務所、「関屋分水路可動堰基礎鋼管杭試験」，昭和43年10月。
- 4) 横尾義貫，島田静雄，名大土木，研究報告書「国道1号線 名四バイパス杭打ち工事による振動測定報告書」，昭和42年12月。

附 録

C

C

振動の影響と許容値

1. 振動の影響

今回の測定の結果を基にして、本工事における杭打ち振動が近傍地盤あるいは付近住民に如何なる影響を与えるかを検討する。

Meister の研究による人体感覚曲線、建築学会の建築物振動障害防止に関する設計基準値（案）および大阪府の振動規制基準と今回の測定結果をそれぞれプロットしたものが図-26である。

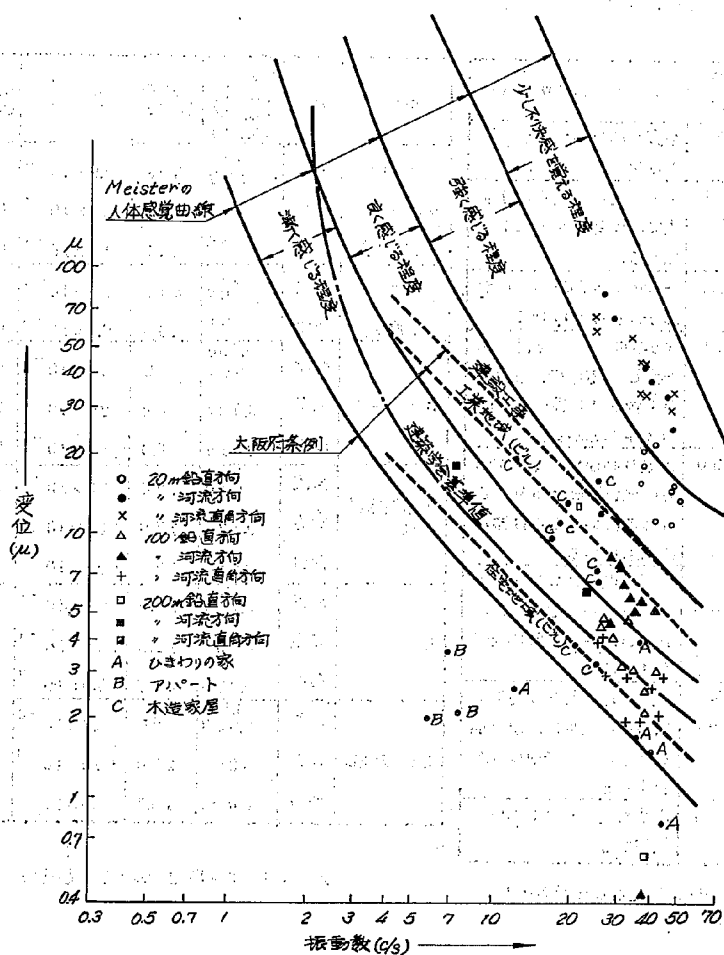


図-26 各規準値と振動

この図から判定すると

- 20 m 地点の水平方向の振動は少し不快感を覚えを程度。
- 20 m 地点の鉛直方向は強く感じる程度。
- 100 m 地点の水平方向はよく感じる程度。
- 100 m 地点の鉛直方向は漸く感じる程度。
- 200 m 地点の振動は弱く感じる程度あるいは無感の程度であると考えられる。

又、加速度と地震の震度の関係は表-12に示すようであり、表-13の今回の振動結果から加速度の値についてのみ比較するならば、20 m 地点において震度Ⅴの強震、100 m 地点においては震度Ⅰの微震に相当するといえる。

震度	相当加速度 (gal)	震度の規 準
0(無感)	0.8以下	地震計には感ずるが人体には全く感じない。
Ⅰ(微震)	0.8~2.5	静止している人または地震に特に敏感な人にだけ感ずる。
Ⅱ(軽震)	2.5~8.0	一般の人々が感じ、戸や障子ばわずかに動く。
Ⅲ(弱震)	8.0~25	家が動揺し、戸や障子が鳴動し、電灯のようなつり下物および器中の水面の動揺がわかる。
Ⅳ(中震)	25~80	家屋の動揺激しく、すわりの悪い器物は倒れ、8分目にはいった水は器外にあふれ出る。
Ⅴ(強震)	80~ 250	家屋の壁にき裂を生じ墓石、石灯ろうなど倒れ、れんが煙突、土蔵に破損を生ずる。
Ⅵ(烈震)	250~ 400	木造家屋が約30%以下倒壊し、山崩れ、がけ崩れなど多く、平地にき裂を生ずる。
Ⅶ(激震)	400以上	木造家屋は約30%以上倒壊する。

表-12 気象庁の震度階と相当加速度

地点名	方向	加速度 (gal) 又は速度 (kine)	振動数 (c/s)	変 位 (mm)	振動速度 (mm/s)
ひまわり Aの家 (横の道)	河流	gal 19.0	35.2	3.9×10^{-3}	0.86
	鉛直	12.3	36.2	2.6×10^{-3}	0.54
	河直	7.6	34.7	1.7×10^{-3}	0.35
" A (庭)	鉛直	gal 9.2	41.0	1.5×10^{-3}	0.36
	河直	6.1	43.9	0.8×10^{-3}	0.22
Bアパート	河流	kine 0.01	7.6	2.1×10^{-3}	0.10
	鉛直	0.007	5.8	2.0×10^{-3}	0.07
	河直	0.015	6.9	3.6×10^{-3}	0.15
木造家屋 C外	河流	kine 0.10	25.0	6.5×10^{-3}	1.00
	鉛直	0.125	17.9	11.0×10^{-3}	1.25
	河直	0.143	12.5	19.0×10^{-3}	1.43
C "	河流	kine 0.114	25.0	7.3×10^{-3}	1.14
	鉛直	0.150	19.2	13.0×10^{-3}	1.50
	河直	0.050	20.8	3.9×10^{-3}	0.50
C 民家内部	河流	kine 0.050	25.0	3.2×10^{-3}	0.50
	鉛直	0.257	25.0	16.0×10^{-3}	2.57
	河直	0.090	16.7	9.5×10^{-3}	0.90

表-13 民家周辺における振動結果

2 振動の許容値

各地方公共団体等によって振動基準は違うが表-14に神奈川県、愛知県、大阪府、兵庫県の公害防止条例振動基準を参考として示す。

〔振動速度〕単位: mm/sec

府県名 項目		神 奈 川 県			愛 知 県			大 阪 府		兵 庫 県		
		am8 ∫ pm6	am7~pm8 ∫ pm6~pm11	pm11 ∫ am6	am8 ∫ pm8	am6~am8 pm8~pm11	pm11 ∫ am6	昼	夜	am8 ∫ pm6	am6~am8 ∫ am6~pm10	pm10 ∫ am6
地 域 区 分	住居専用	0.3	0	0	0.3	0.3	0.3	-	-	0.3	0	0
	住居	0.6	0.3	0	0.6	0.3	0.3	am8 ∫ pm8 am7 ∫ pm10	pm8 ∫ am8 pm10 am7 ∫ am8	0.6	0.3	0
	商業・準工業	0.9	0.6	0	0.9	0.6	0.3	∫ 1.0	∫ 0.5	0.9	0.6	0
	工業	1.2	0.9	0.3	1.2	0.9	0.6	" 1.5	" 0.7	1.2	1.2	0.6
	工業専用	1.2	1.2	0.9	1.5	1.2	0.9	" 1.0	" 0.5	1.2	1.2	0.9
	その他	0.6	0.3	0	0.7	0.5	0.3	am8 ∫ pm8	pm8 ∫ am8	-	-	-
測 定 条 件 等	地域区分	建築基準法による用途地域			"			"		"		
	測定位置	敷地境界線、地表上			"			"		"		
	測定方法	7~10c/sの振動計(誤差±5%)上下水平のうち最大値			上下・水平のうち最大値			"		"		
	特別基準	相隣地境1/2(A+B)										
適 用 除 外					1. 建築工事振動 2. 交通機関振動			1. 同 左		1. 同 左		
そ の 他		内 規 (39.6.12 制定)			(42.4.12 制定)			(40.12.17 制定)		内 規		

表-14 公害防止条例振動基準の比較