

昭和四十四年

土 木 研 究 所 資 料

第 389 号

くい打込みにともなう振動について

昭和 43 年 12 月

建 設 省 土 木 研 究 所

土木研究所資料

第三八九号

くい打込みにともなう振動について

昭和四十三年十二月

建設省土木研究所

目 次

1. ま え が き	1
2. 試 験 の 概 要	3
2-1 試 験 場 所	3
2-2 地 盤 構 成	3
2-3 試 験 く い	4
2-4 試 験 く い の 位 置	4
2-5 測 定 計 器 の 配 置	9
2-6 打 込 み 機 械	10
3. 測 定 方 法	11
3-1 振 動 の 表 示 方 法	11
3-2 測 定 方 法	11
4. 測 定 結 果	13
4-1 く い の 打 込 み 状 況	13
4-2 く い の 打 込 み 公 式 に よ る 支 持 力	15
4-3 く い 打 込 み に と も な う 地 盤 の 加 速 度	16
4-4 加 速 度 と 速 度	18
4-5 地 盤 の 振 動 周 期 と 減 衰 定 数	19
4-6 振 動 速 度 と 距 離 の 関 係	21
4-7 鉛 直 方 向 と 水 平 方 向 の 振 動 関 係	26
4-8 波 動 伝 播 時 間	26
4-9 振 動 の 影 響	28
5. 結 果 の ま と め	30
6. あ と が き	32
付 録 振 動 速 度 と 距 離 の 関 係 図	33

正 誤 表

頁	行	訂 正 箇 所	
		誤	正
42	図-53	鉛直方向振動速度	水平方向振動速度

1. ま え が き

最近、日本経済の発展にともなう、各種の社会的ひずみが発生し、公害として新聞紙上でとり上げられている。しかし建設工事にもなうて発生する騒音、振動は、交通機関によるものと同様に、その工事が公共性を有し、かつ一時的な現象であるとして、黙認されていた。騒音、振動に対する規制からも、建設工事に対するものは除外されていた。しかし、都市高速道路の建設、市街地区画整理事業、地下鉄工事など都市内の工事が進むに従って、それらによる被害も拡大し、建設工事に対する公害防止がさげばれるようになった。その要望に対して、騒音規制法が本年12月より施行されることになった。

建設工事における騒音、振動の研究は種々行なわれており、特に建築工事に関連して測定が進められている。しかし、規制する技術的根拠については未だ明確ではない。特に振動については不明確である。それには2つの理由が考えられる。

第1には、振動を感じる度合が人によって異なることである。振動の被害を受ける立場の人はその振動を非常に大きく感じがちであり、実際に発生している以上に被害を受けているようにさえ思える。特に騒音がともなう場合にはより大きく感ずる。逆に振動発生源の方の立場にある人は許容の大きさを大きく考えたいのが人情で、少し位大きくとも我慢するべきだと考える。従って、振動に対する忍限度は立場立場によって差が生ずることになる。そのため簡単に規程が決めにくい。更に建物に対する損傷の与え方は建物の古さ、施工の優劣、その部分の強度、すでに受けている損傷の有無などによって左右され、一概に決めることができず、規制をむずかしくする要因になっている。

第2には、測定方法、測定計器が現在のところ未だ標準化されていないことである。振動を測定した場合に、測定者の熟練の度合、測定規模、測定計器の種類、増幅装置、記録装置などによって測定結果が左右され、正しく振動を把握することが難しく、他の手段を用いた測定結果との比較ができない。したがって、標準的な手法が定められ、それによるデータがかなり揃うまでは規制は難しいと考えてよい。

以上の点が建設工事に付随して発生する振動対策の大きな隘路となっている点と言えよう。

基礎研究室ではこのような振動測定に従事した経験がなく、くい打ち機の性能実験において、1回経験があるのみである。たまたま本年8月に静岡県より、くい打込みによる振動の影響範囲の測定を依頼され、8月12日より5日間にわたり、現場測定を実施した。本測定地点は東海道本線との交差部に跨線橋を設け立体交差とするため、市街地を区画整理する事業区域にあり、家屋が隣接して建っている所である。したがって、くい打込みにともなう振動が問題となるような地点であった。測定実日数は3日間であったが、合計23本のくいを対象として取り上げ、多数のデータを集めることができた。

本報告書はそのデータを整理し、振動の影響範囲を調べ、従来からの振動測定結果の傾向と対比し、かつくい打ちによって発生する波動の地盤伝播について若干の考察を加えたものである。

振動に対する統一的な規制が確立されていないので、現在のところ個々の関係官庁でその判断を下さざるをえないし、測定結果がどのような意味を有するかについては言及しがたいが、くい打ちにともなう発生する振動についての若干の傾向が得られたものと考えている。

なお、振動測定を依頼してきた静岡県土木部計画課および島田土木事務所には別途報告書を提出してある。

測定にあたっては、佐藤工業株式会社技術研究部 滝沢正実君に協力いただいたことを付記して、感謝の意を表する。

昭和43年12月

基礎研究室	吉田 巖
	足立 義雄
	和泉 孝位

2. 試験の概要

2-1 試験場所

まえがきにもふれたように、都市計画街路事業のひとつとして、国鉄との立体交差部に跨線橋の架設を、昭和42年度からの継続事業として現在静岡県で実施中である。

本跨線橋の架設地点は写真-1に示すように、市街地を都市計画の一環として、区画整理している地域であり、計画路線付近には家屋が密集している。したがって、くいの打込みによる振動が問題となった。

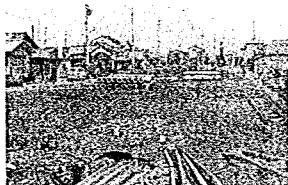


写真-1 本橋架設地点

今回のくいの打込みにもともなう振動の測定は、8月12日より打込みを開始した跨線橋の擁壁部における基礎工事を対象として選んで行なったものである。

2-2 地盤構成

試験場所のボーリング結果を図-1に土質柱状図として示す。ボーリング位置は図-2に示されているように、試験場所のすぐ近くである。

この結果より、上層5mまでがN値20~30位の砂礫層で、砂礫の最大粒径は40mmである。

その下6m位がN値10以下の粘土層、その下5m位がN値15前後のシルト層、その下がN値25以上の砂礫層となっている。

くいは上部砂礫層に支持されている。また、地下水位は約1.1mの深さのところに位置している。

この試験場所の地盤構成はおおむね図-1と同様である。

2-3 試験ぐい

試験ぐいは鉄筋コンクリートぐい（以下RCぐいと略する）で外径40cm、内径26cm、肉厚7cm、長さ4mのものである。8月13日～15日に打込まれた40本のぐいのうち、直ぐい13本、斜ぐい10本、計23本が測定の対象となった。斜ぐいの打込み角度は15°である。

2-4 試験ぐいの位置

測定対象となった試験ぐいの位置を図-2に示す。

この地点には8月13日より15日の間に約40本のRCぐいが打込まれたが、測定対象としたぐいは測定地点の状況、家屋、道路の関係、測定計器配置の難易から図-2に示すような①②③の3つのグループに分けて、合計23本のぐいで測定することにした。

①グループのぐいは、測定対象が家屋などの障害物のないところでどのような影響を有するか、距離と振動速度の関係を把握するものである。

②グループのぐいは①グループと同じ目的で位置を変えて測定したものである。

③グループのぐいはそれに対して、家屋が存在する個所で家屋に対する直接の影響を調べる目的で測定したものである。

試験ぐいの配置詳細図を図-3に示す。

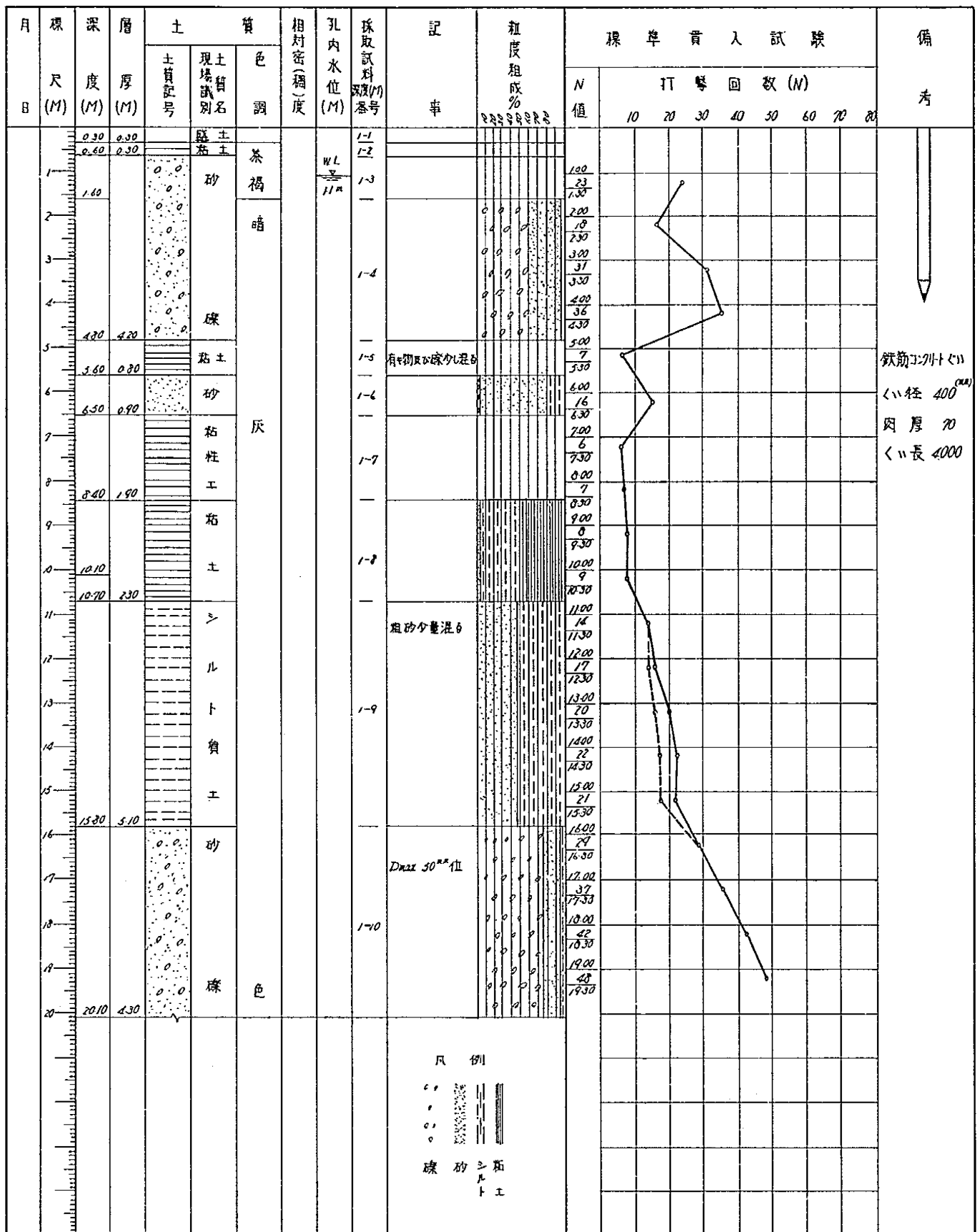


図-1 土質柱状図

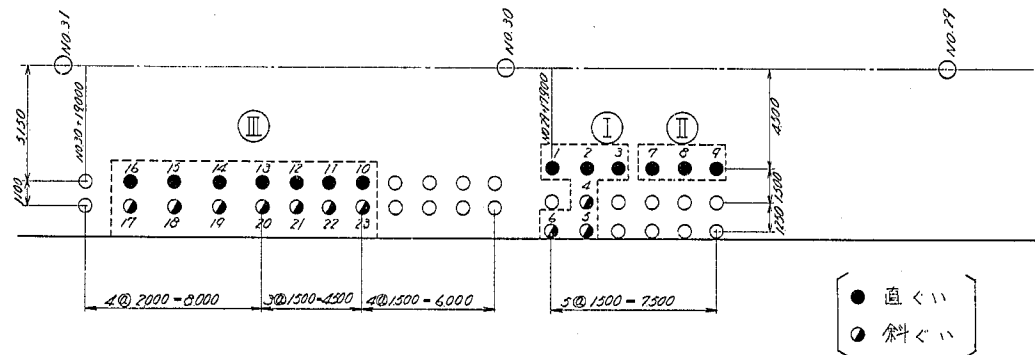


図-3 試験ぐい打込み詳細図

2-5 測定計器の配置

測定計器としては、速度計（鉛直4台、水平4台、各々の計器は感度0.2V/kine、最大容量5 kine）と加速度計（2台、最大容量2g）を用いた。

測定計器の配置は図-2に示すように、各グループ中の1本の試験ぐいを規準として、そのぐいから一直線になるように4個所に配置した。

測定計器は測定対象としている試験ぐいからすべて一直線上に配置すべきであるが、なるべく多くのぐいでデータを取るようにしたため、各ぐいについて測定計器を移動し配置し直していると、測定計器の据付けや調整に相当の時間がかかること、3グループに分割して各グループ毎にぐいがまとまっていること、試験ぐいと測定計器間の距離を修正することなどから各グループとも1本の試験ぐいを規準として4個所ずつに配置した。規準ぐいとしては、図-3に示す試験ぐい中、 $\#1$ 、 $\#8$ 、 $\#19$ である。

計器の設置状態を写真-2に示す。

各試験ぐいより測定計器までの水平距離を表-1に示す。

以上の点より、本測定結果は2方向の成分しか測定されていないので、最大速度およびその方向を求めることはできず、計器の配置した方向の速度のみが測定されているにすぎない。これはその目的が振動影響範囲にのみしぼられていたためである。

したがって、本報告書では規準としたぐいについてその傾向をまとめている。

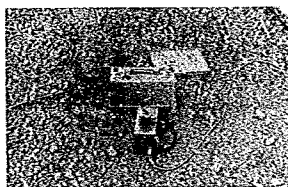


写真-2 計器の設置状態
(V:鉛直方向, H:水平方向)

ぐい番号 計器番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$A_1 \cdot A_2$ $H_1 \cdot V_1$	5	5.2	5.8	4.2	3.2	2.3	5	6	7
$H_2 \cdot V_2$	10	10.2	10.8	9.2	8.2	7.3	9	10	11
$H_3 \cdot V_3$	20	20.2	20.8	19.2	18.2	17.3	19	20	21
$H_4 \cdot V_4$	40	40.2	40.8	39.2	38.2	37.3	37.4	38.4	39.4

計器番号 \ くい番号	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
$A_1 \cdot A_2$	7.6	6.3	5.2	4.4	3.5	4.4	5.6	4.7	3.1	2.4	3.1	4.2	5.5	6.9
$H_1 \cdot V_1$	10.5	9.6	8.9	8.4	7.8	8.4	9.1	7.8	7.0	6.7	7.0	7.6	8.4	9.3
$H_2 \cdot V_2$	22.5	22.1	21.8	21.6	21.1	21.6	21.9	20.4	20.1	20.0	20.1	20.3	20.6	21.0
$H_3 \cdot V_3$	42.0	41.8	41.7	41.6	41.1	41.6	41.7	40.2	40.1	40.0	40.1	40.2	40.3	40.5

A_1 : 加速度計 (水平方向), A_2 : 加速度計 (鉛直方向),

(単位 m)

H : 速度計 (水平方向), V : 速度計 (鉛直方向)

表-1 試験ぐいより測定計器までの距離

2-6 打込み機械

打込みに使用したくい打ち機は下記の容量のものである。

1. やぐら クローラ型 3点支持式くい打やぐら
2. ハンマー ディゼルハンマー
3. 形式 M22B形
4. ハンマー重量 2.2 t
5. ハンマー落下高 1.8 m前後

また、打込み時のハンマーの打撃によって試験ぐいのくい頭が破壊されるのを防ぐために、厚さ10cm位の木製のクッションを使用した。

3. 測定方法

3-1 振動の表示方法

建設工事にとまって発生する振動の測定計器、測定方法については、現在のところまだ標準化されていない。くいの打込みにとまって発生する地盤の振動を表わす物理量としては、変位、速度、加速度が考えられるが、いずれの物理量で表示するのがその目的にかなっているのか明確ではない。

1 台の振動計によって測定した結果を加速度、速度、変位に同時に換算できれば最も理想的であるが、一般に同時測定は非常にむずかしいので、ひとつの物理量によることが多い。したがって、従来は振動を表わす物理量として、加速度、速度、変位のいずれかをを用いて表示していることが多い。

この3つの物理量のうち、これまでの表示結果例を見ると、速度で表示されることが最も多く、一般的なものとして用いられているようである。したがって、今回の試験も速度表示によることとした。特に、建築関係では速度を用いて表わしている例が多い。

また、人体の感覚に近いもので表示しようとすれば、加速度、変位表示よりはむしろ速度表示の方が便利であるとされている。

地盤の振動数による表わし方もあるが、地盤の振動数は3～20 c/s 程度のものでされており、振動数による表示は振動数のみで振動障害の意味づけができない欠点があり、変位と共に表わされないと意味がない。したがって一般にほとんど用いられていない。

3-2 測定方法

一般に、くいの打込みにとまって発生する振動は縦波および波の進行方向を含む鉛直面内で振動する Rayleigh 波であることが知られているので、各測定計器は上下振動と波の進行方向の水平振動が測定できるように据付けた。

測定計器には速度計と加速度計を用いたが、打込みぐいに近接している個所では大きな振動速度が測定されるため、速度計で測定できない場合があり、加速度計を併せて用いた。

測定計器の接続順序としては、速度計は抵抗箱を通してオシログラフに、加速度計は動的ひずみ測定器を通してオシログラフによって測定記録した。

振動の記録方法は各試験ぐいについて、打込み深さ 1 m , 2 m , 3 m , 貫入量測定時および打ち止め時 (4 m) の5回、測定条件を変えて測定した。これらの各測定条件で平均10回程度の記録を取っているが、ハンマーの落下高さによって少しづつ異なった値が記録されている。

したがって、速度計の振幅の最大値によってその測定結果を整理した。

4. 測定結果

4-1 くいの打込み状況

直ぐい、斜ぐいの打込み状況を写真-3、4に示す。

くいの打込み状況として、各試験ぐいの打止まり付近で測定したラムの落下高、貫入量、リバウンド量および打止まりまでの総打撃回数、打込み所要時間を一覧表にして示すと表-2のようになる。

また、打込み深さと打撃回数の関係を図示すれば図-4、5のようになる。

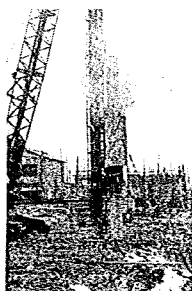


写真-3 直ぐいの打込み状況

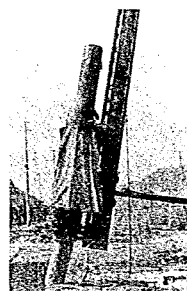


写真-4 斜ぐいの打込み状況

表-2 くい打込み結果

種類	くい番号	打込み深さ(m)	打止め時のラムの落下高(m)	貫入量測定時		総打撃回数	打込み所要時間(分)
				貫入量(mm)	リバウンド量(mm)		
直ぐい	1	4.0	1.8	9	5	270	8
	2	4.0	1.8	9.1	6	214	5
	3	4.0	1.8	8.1	5	224	5
斜ぐい	4	4.0	1.9	7.1	6	280	10
	5	4.0	1.8	7.7	6	311	10
	6	4.0	1.8	6.0	5	285	—
直ぐい	7	4.0	1.7	8.2	5	307	10
	8	4.0	1.7	8.5	6	294	8
	9	4.0	1.7	6.6	5	403	12
	10	4.0	1.6	6.0	5	439	15
	11	4.0	1.7	6.1	5	419	10
	12	4.0	1.7	5.9	6	393	10
	13	4.0	1.7	6.8	6	355	6
	14	4.0	1.9	6.2	5	350	10
	15	4.0	2.0	6.5	5	348	8
	16	4.0	1.9	8.3	6	285	7
斜ぐい	17	4.0	1.7	4.9	5	480	12
	18	4.0	1.8	4.4	6	459	13
	19	4.0	1.6	4.5	6	395	19
	20	4.0	1.8	6.4	6	385	13
	21	4.0	1.8	4.5	5	497	12
	22	4.0	1.6	2.3	5.5	656	9
	23	4.0	1.8	4.2	6.3	536	15

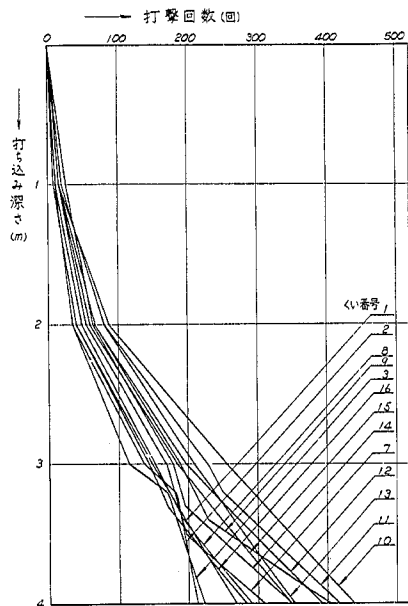


図-4 打ち込み深さと打撃回数(直ぐい)

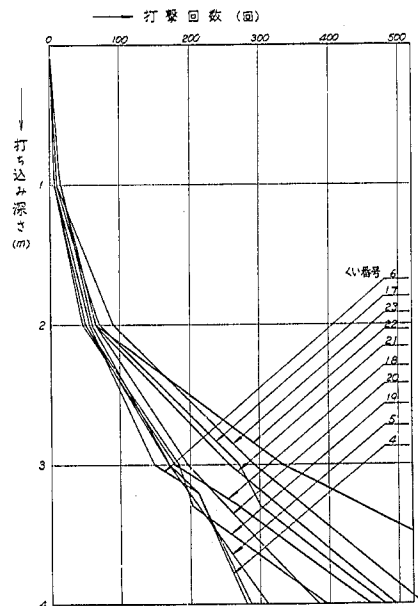


図-5 打ち込み深さと打撃回数(斜ぐい)

くいの総打撃回数は、直ぐいでは200～400回、斜ぐいでは300～550回で、下部構造設計指針くい基礎の施工篇の規定に合わせると、ほぼ妥当なくいの打込みと考えてよい。

また、当然のことではあるが、表層の打撃回数より打止まり附近の打撃回数が大きいので、4-2の結果とも合わせて十分な支持力が得られていると考えてよい。

直ぐいと斜ぐいとは、総打撃回数が斜ぐいの方が大きいですが、それは斜ぐいの場合には打撃力がすべてくいの打込み力に変化していないことを示しており、斜ぐいの打込みにくさを示していると考えられる。

4-2 くいの打込み公式による支持力

くい打込み公式による極限支持力の算定方法には種々のものがあるが、ここでは下部構造設計指針くい基礎の施工篇に示されている次のHilleyの公式で極限支持力を計算する。

$$R_a = \frac{e_f \cdot W_H \cdot H \left[1 - \frac{W_f}{W_H + W_f} (1 - e^2) \right]}{S + \frac{1}{2} C}$$

ここに、

R_a : 極限支持力 (t)

e_f : ハンマー効率

$W_H \cdot W_f$: ハンマーおよびくいの重量 (t)

H : ハンマー落下高 (cm)

S : くいの貫入量 (cm)

C : リバウンド量 (cm)

e : 反発係数

これより、くい1本当りの極限支持力として、表-3のような結果が得られる。ただし、斜ぐいの場合にはくい軸方向の打込みに対する極限支持力である。

表 - 3 極限支持力

種 類	くい 番号	支持力 (t)	種 類	くい 番号	支持力 (t)
直ぐい	1	365	直ぐい	16	393
"	2	347	斜ぐい	4	439
"	3	396	"	5	393
"	7	371	"	6	494
"	8	345	"	17	536
"	9	436	"	18	567
"	10	440	"	19	498
"	11	462	"	20	447
"	12	446	"	21	600
"	13	405	"	22	748
"	14	510	"	23	567
"	15	519			

これより、打込み公式によるくいの安全率を常時に 3 と考えると、直ぐいで約 140 t、斜ぐいで約 170 t の許容支持力と考えられる。しかし、くいの許容支持力は地盤より決まるもののみならず、くい本体の材料より制限されねばならない。例えば、このくいに軸力のみしか作用しないと考えると、コンクリートの許容圧縮応力度を $P C$ ぐいの場合の最大値である $\sigma_{ca} = 170 \text{ Kg/cm}^2$ と考えたとき、このくい本体の耐荷力は、

$$P = 170 \times \frac{\pi}{4} (40^2 - 26^2) = 123,000 \text{ Kg} = 123 \text{ t / 本}$$

になる。すなわち、くい材料より 1 本当り 123 t までしか許容されなくなる。

これにモーメントが作用すると、更に許容支持力は小さくなると考えてよい。

一方、くい 1 本当りの設計荷重は表 - 4 の通りであり、上記の制限を加えても支持力については十分と考えられよう。

表 - 4 設 計 荷 重

擁壁種別 分 類	高さ 4 m の擁壁		高さ 6 m の擁壁	
	常 時 (t)	地震時 (t)	常 時 (t)	地震時 (t)
直ぐい	12.4	—	23.3	—
斜ぐい	24.4	52.9	27.6	73.5

— は計算していない

4-3 くい打込みにともなう地盤の加速度

試験ぐいに最も近接している個所での水平方向加速度および鉛直方向加速度の結果を表 - 5 に示す。

表 - 5 くい打込みにともなう地盤加速度 (gal)

グループ		Ⅰ						Ⅱ			Ⅲ														
種類		直ぐい			斜ぐい			直ぐい			直ぐい							斜ぐい							
計器番号	くい番号 測定条件	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
A ₁ (水平)	1 m	72.2	37.1	37.1	—	53.2	—	63.3	41.0	36.8	29.7	33.0	42.8	103	63.3	37.1	29.7	35.6	86.1	189	116	32.4	30.6	21.7	
	2 m	136	123	42.8	117	137	273	154	67	36.8	59.4	69.2	149	342	273	204	29.7	106	194	224	181	153	68.9	37.7	
	3 m	146	108	84.9	180	215	321	343	127	73.4	46.0	56.1	106	270	212	174	46.6	131	262	338	270	148	63.6	37.7	
	貫入量 測定時	—	119	46.3	164	219	279	268	127	73.4	46.0	48.7	102	266	200	156	47.8	118	259	324	270	148	58.2	48.4	
	打止り時	169	167	59.4	162	168	267	294	165	128	42.8	52.9	106	225	219	156	54.3	117	254	287	252	104	79.6	48.4	
A ₂ (鉛直)	1 m	84.4	96.9	47.7	—	213	—	102	57.9	40.6	53.4	83.5	82.3	128	155	96.7	53.7	92.2	123	224	146	124	53.4	35.8	
	2 m	158	153	103	248	246	525	184	265	138	131	263	257	274	322	273	185	231	358	381	343	243	176	153	
	3 m	155	157	195	240	217	491	310	298	211	98.4	167	215	164	206	242	137	184	322	587	356	206	199	154	
	貫入量 測定時	—	197	215	260	196	403	269	298	244	98.1	158	215	173	191	249	134	168	304	529	331	230	194	157	
	打止り時	180	209	220	292	234	386	367	298	195	98.1	128	197	179	209	255	110	152	253	398	381	223	189	54.2	

この結果より、鉛直方向加速度と水平方向加速度の比を求めると表-6のようになる。

表-6 加 速 度 比

試験ぐい 測定条件	1m	2m	3m	貫入量測定時	打止り時
㍿ 1	1.17	1.16	1.06	—	1.06
㍿ 8	1.41	3.96	2.34	2.34	1.80
㍿ 19	1.18	1.70	1.74	1.63	1.38

鉛直方向加速度は、水平方向加速度より概ね大きく測定されており、試験ぐい㍿1で1.1倍、㍿8で2.3倍、㍿19で1.4～1.7倍ぐらいの値

を示している。

また、試験ぐい㍿19の2.4m地点において、最大水平加速度 340 gal, 最大鉛直加速度 590 gal が測定された。

4-4 加速度と速度

オシログラフに測定された記録は写真-5, 6に示すようである。

試験ぐい1～9については、ぐいに最も近接した測定点に加速度計と速度計を同時に据付けたが、両計器より測定された値を対比してみると表-7のようになる。加速度より

速度への換算はその振動が近似的に正弦波だという仮定に基づいてい

る。

この表-7の結果より、両者は数 mm/sec の差しか有さないことがわかる。

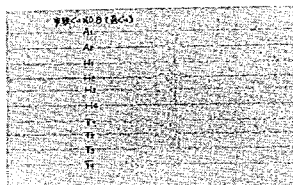


写真-5 振動記録(直ぐいの一例)

打止め時
ハンマー落下高 1.7 m
貫入量 8.5 mm
リバウンド量 6.0 mm

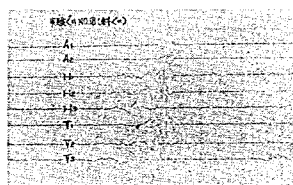


写真-6 振動記録(斜ぐいの一例)

打止め時
ハンマー落下高 1.8 m
貫入量 4.4 mm
リバウンド量 6.0 mm

表 - 7 速度測定結果

(mm/sec)

測定条件		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 m	A ₂	8.35	9.32	5.70	—	18.70	—	—	2.03	4.07
	V ₁	6.48	10.50	6.27	—	25.26	—	7.86	4.79	5.00
2 m	A ₂	12.08	10.25	7.39	24.38	20.35	33.44	15.86	12.67	7.74
	V ₁	14.39	14.33	9.33	22.83	29.90	35.00	16.67	18.58	11.00
3 m	A ₂	11.83	11.40	12.38	13.43	21.74	39.28	16.76	14.25	11.80
	V ₁	14.24	15.83	17.50	19.50	27.28	43.66	23.13	22.50	15.83
貫入量測定時	A ₂	—	13.25	13.68	13.65	18.93	35.37	14.13	14.25	11.67
	V ₁	—	17.33	17.50	20.16	26.96	37.20	23.86	23.47	16.33
打 止 り 時	A ₂	13.20	13.29	12.26	15.35	20.87	30.88	20.49	14.25	15.60
	V ₁	16.07	18.33	18.67	21.33	23.53	31.98	26.80	22.80	16.33

4-5 地盤の振動周期と減衰定数

地盤の振動周期と減衰定数の結果を示すと表-8のようになる。

振動記録は正弦波形でないため、振動周期、減衰定数の算出には、厳密には周波数分析を行わなければならないが、今回は近似的にその振動記録より平均的な値を求めたものである。

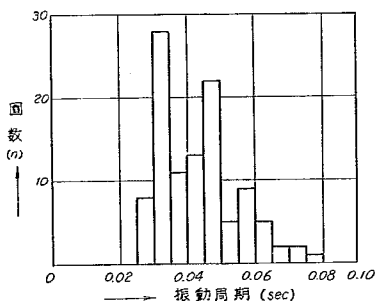


図-6 振動周期の分布状態

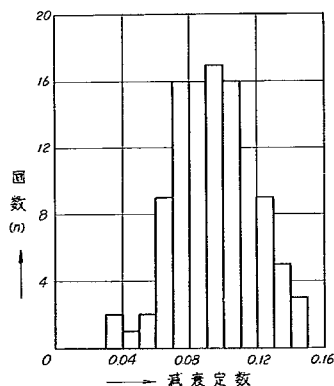


図-7 減衰定数の分布状態

グループ		Ⅰ						Ⅱ			Ⅲ														
く い 種		直 ぐ い			斜 ぐ い			直 ぐ い			直 ぐ い								斜 ぐ い						
項目	くい番号 測定条件	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
振動 周期 (sec)	1 m	0.062	0.060	—	—	0.050	—	—	—	0.063	0.062	0.062	0.075	0.075	0.050	—	—	—	0.058	0.060	0.079	0.037	0.025	—	
	2 m	0.048	0.042	0.045	0.052	0.052	0.040	0.054	0.022	0.035	0.039	0.033	0.033	0.046	0.050	0.054	0.025	0.033	0.050	0.044	0.046	0.044	0.031	0.031	
	3 m	0.048	0.040	0.040	0.035	0.063	0.050	0.034	0.030	0.035	0.050	0.050	0.033	0.050	0.058	0.033	0.038	0.036	0.046	0.046	0.044	0.029	0.029	0.032	
	貫入量測定時	—	0.042	0.040	0.033	0.066	0.055	0.033	0.033	0.033	0.050	0.042	0.037	0.050	0.056	0.033	0.041	0.033	0.047	0.042	0.050	0.029	0.030	0.033	
	打止り時	0.046	0.040	0.035	0.033	0.056	0.050	0.035	0.030	0.050	0.056	0.042	0.037	0.050	0.058	0.033	0.044	0.042	0.041	0.058	0.029	0.035	0.030	0.035	
減 衰 定 数	1 m	0.038	0.070	—	—	—	—	—	—	—	0.087	—	0.083	0.084	0.092	0.064	—	0.061	—	0.143	—	0.083	—		
	2 m	0.082	0.078	0.021	0.091	0.086	0.072	0.045	0.110	0.092	0.131	0.138	0.093	0.074	0.135	0.089	0.107	0.065	0.137	0.072	0.106	0.083	0.080	0.087	
	3 m	0.075	0.091	0.106	0.092	0.071	0.099	0.052	0.085	0.110	0.097	0.150	0.109	0.074	0.065	0.071	0.102	0.083	0.130	0.079	0.122	0.073	0.082	0.118	
	貫入量測定時	—	0.093	0.118	0.095	0.095	0.069	0.063	0.105	0.110	0.092	0.142	0.119	0.077	0.058	0.073	0.091	0.080	0.114	0.066	0.115	0.104	0.095	0.127	
	打止り時	0.138	0.106	0.122	0.149	0.122	0.062	0.086	0.110	0.099	0.086	0.102	0.126	0.100	0.088	0.080	0.080	0.074	0.100	0.090	0.143	0.124	0.104	0.115	

表-8 地盤の振動周期と減衰定数

この測定記録より振動周期と減衰定数の分布状態を図示すると図-6, 7のようになり、地盤の振動周期は約0.03~0.05 sec, 減衰定数は約0.07~0.11の範囲にあると考えられる。

4-6 振動速度と距離の関係

試験ぐいの打込みにもなう振動速度が距離によってどのように変わるか、その影響範囲を調べるために測定された振動速度と距離の関係を規準としたくについて図示すると、図-8~13のようになる。図-8~10は鉛直方向の振動速度を示し、図-11~13は波の進行方向を含む面内の水平方向の振動を示す。その他の試験ぐいの測定結果は付録として本報告書の末尾に示した。

図-23~42は鉛直方向振動速度を示し、図-43~62は水平方向の振動速度を示す。

一般に火薬の爆発などによって発生する非常に短い周期の振動をのぞくと、地盤の振動は波の進行方向を含む鉛直面内においては、Reyleigh波であることが知られている。

このような表面波の一部が地盤中に吸収される場合には、振源からの距離 ℓ なる点での振幅 y は ℓ の平方根に逆比例するとして、次式で表わされる。

$$y = c \frac{1}{\sqrt{\ell}} e^{-\alpha \ell}$$

ここに、

c : 振源における振幅、円振動数、地盤の密度、弾性常数などに関する常数

α : 地盤の減衰定数

今回の試験結果より、各測定地点における振動速度に基づいて、その測定地点の振幅 y に近似的に換算し、これに基づいて、上式を適用して常数 c を求めた。この場合に α には実測値を用いた。

このようにして求めた結果を図示すると図-14~16のようになる。

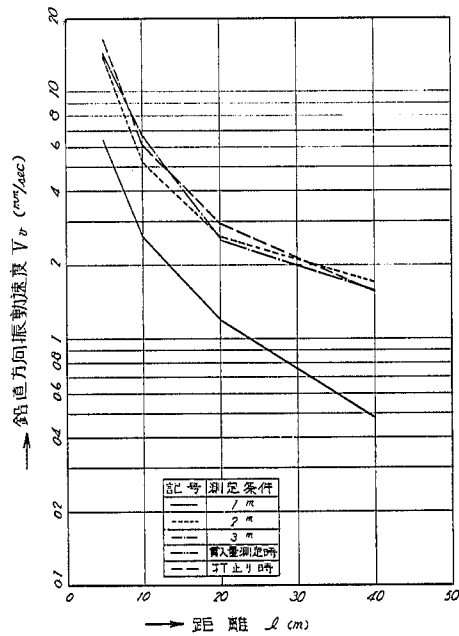


図 - 8 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 1)

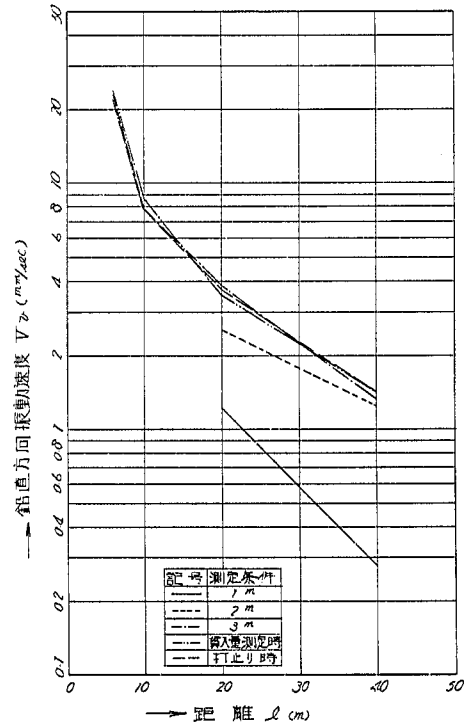


図 - 9 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 8)

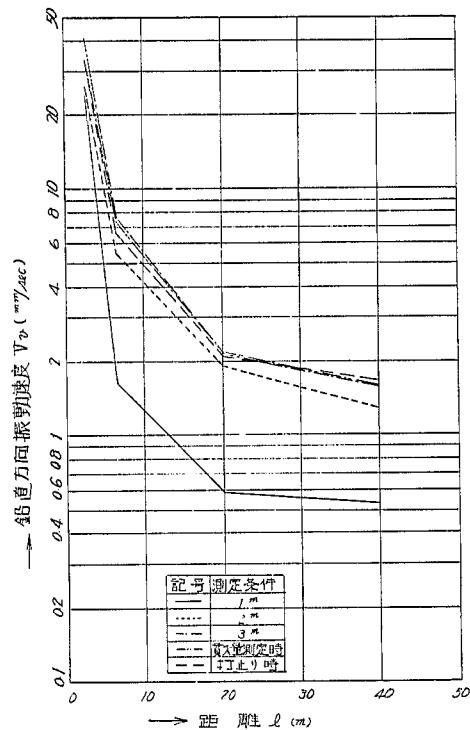


図-10 距離と振動速度の関係
(試験ぐい No. 19)

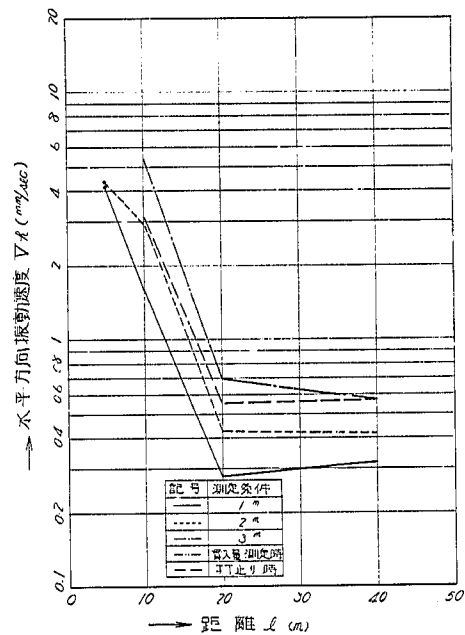


図-11 距離と振動速度の関係
(試験ぐい No. 1)

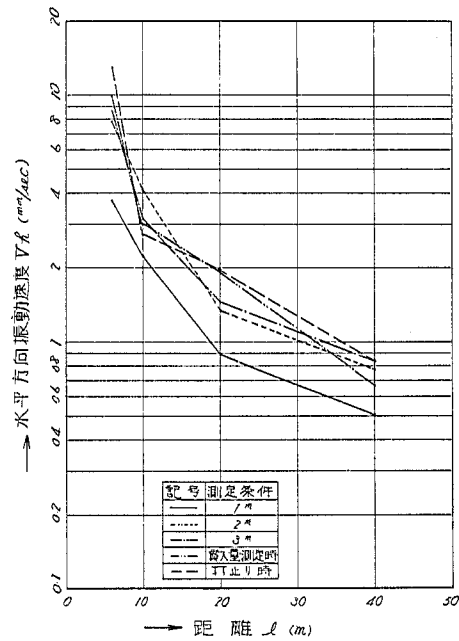


図-12 距離と振動速度の関係
(試験ぐい No. 8)

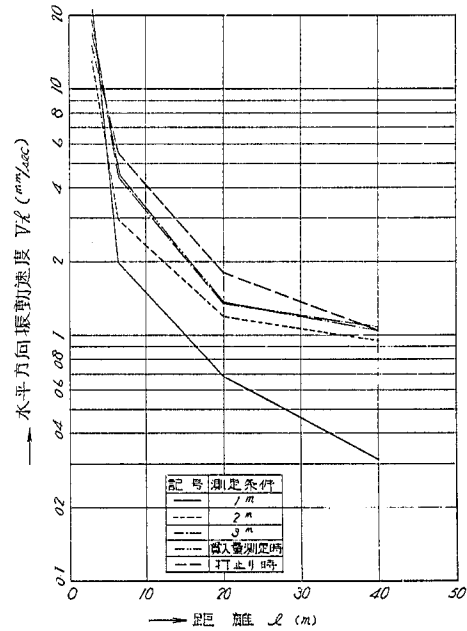


図-13 距離と振動速度の関係
(試験ぐい No. 19)

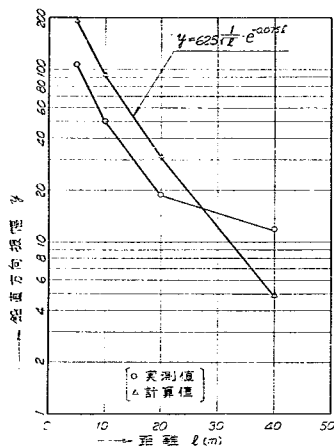


図-14 距離と振幅の関係
(試験ぐい No.1 根入れ深さ 3.0 m)

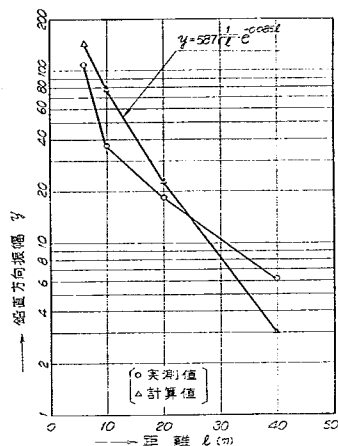


図-15 距離と振幅の関係
(試験ぐい No.8 根入れ深さ 3.0 m)

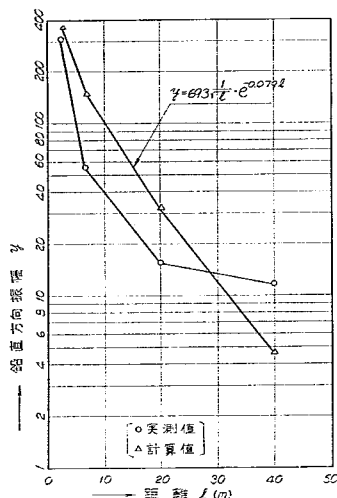


図-16 距離と振幅の関係
(試験ぐい No.19 根入れ深さ 3.0 m)

この結果から減衰性を実測値よりも大きく考えないと、振幅と距離の関係が説明できない。

したがって、実測値では減衰性が小さ目に表われていることになる。振幅の大きさより考えて、距離による振幅の減衰性を考える場合には、上式の関係だけでは完全に満足しない。

4-7 鉛直方向と水平方向の振動関係

試験ぐいに一番近接している個所に据付けられた計器の記録波形によって、地盤の動きを知るために、振動波形の上下動と波の進行方向の水平動の波形より質点の運動軌跡を示すと、 $\#1$ ぐい、 $\#8$ ぐい、 $\#19$ ぐいについて、それぞれ図-17~19の結果

が得られた。

この結果より地盤の一点の動きを知ることができるが、ぐいの打込みと地盤の運動軌跡との間には必ずしも定性的な傾向が得られなかった。

4-8 波動伝播時間

各測定計器による最大振幅の時間的ずれを試験ぐい全体について図示すると図-20~21のようになる。

鉛直方向と水平方向の振動の伝播時間には大差はなく、波動の伝播速度は約 $670 \sim 700$ m/sec と考えてよい。

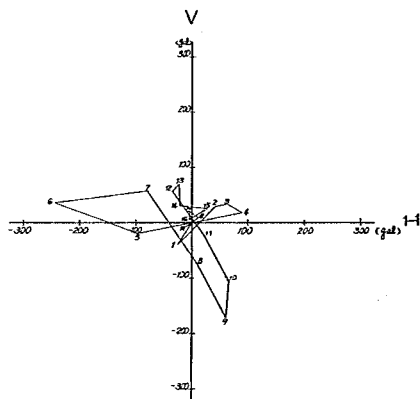


図-17 質点の運動(試験ぐい $\#1$ 打止り時)

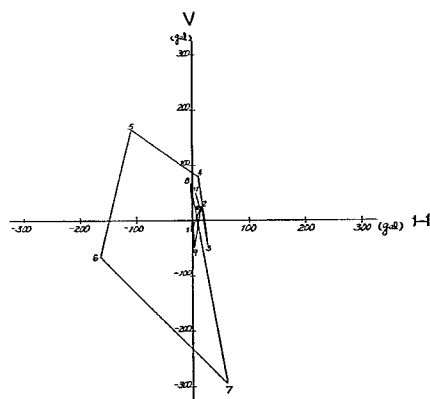


図-18 質点の運動(試験ぐい $\#8$ 打止り時)

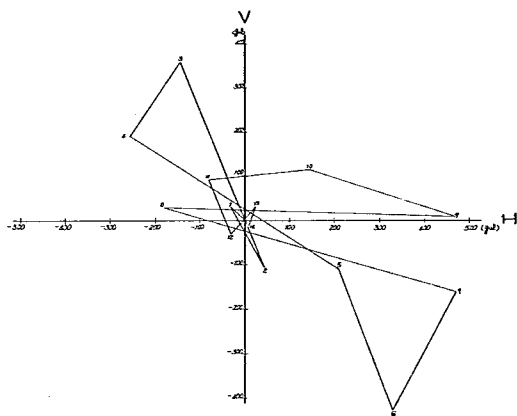


図-19 質点の運動 (試験くい619 打止り時)

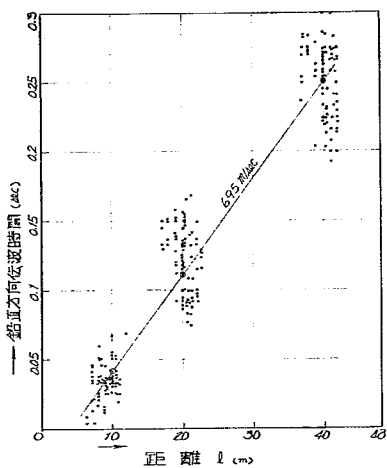


図-20 波動の伝播時間と距離の関係

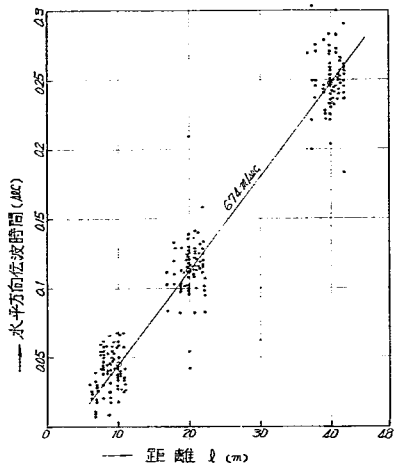


図-21 波動の伝播時間と距離の関係

4-9 振動の影響

人体に対する振動の感覚と建物に対する振動の影響を調べるために、Meisterの研究による人体感覚曲線、英国のB.R.S.による建物被害曲線、建築学会の建築物振動障害防止に関する設計基準値(案)などと比較してみた。

今回の測定の主目的は、振動の影響であり、特にそれを対象として測定した⑧グループのくいにより一例として調べた。

図-22に上記の研究結果と測定値を示した。測定値としては、打止り時の測定結果によった。この図において、●印は図-2における⑧グループの2地点における上下方向の振動であり、○印は3地点におけるものである。

すなわち、くいに最も近接した家屋の前部と後部におけるものを示した。

この結果によると人体感覚としては、家屋の前部で強く感じる程度の上限を示しており、家屋の後部では長く感じる程度の上限を示している。

これより家屋の内においては、かなり振動を感じると考えてよい。また、家屋への影響は、家屋の前部において強い振動で上塗に亀裂が生ずる範囲内に入ることが知られ、家屋の後部では被害が生ずる範囲からはずれていることがわかる。したがって、家屋への被害はくいに最も近接したところで生ずるかも知れない。

しかし、家屋に被害が生ずるとか、生じない範囲についての判断は英国における結果で、どのような建物によって測定されたか不明であるため、一概にすべての建物に適用することはできないので、その程度については不明である。

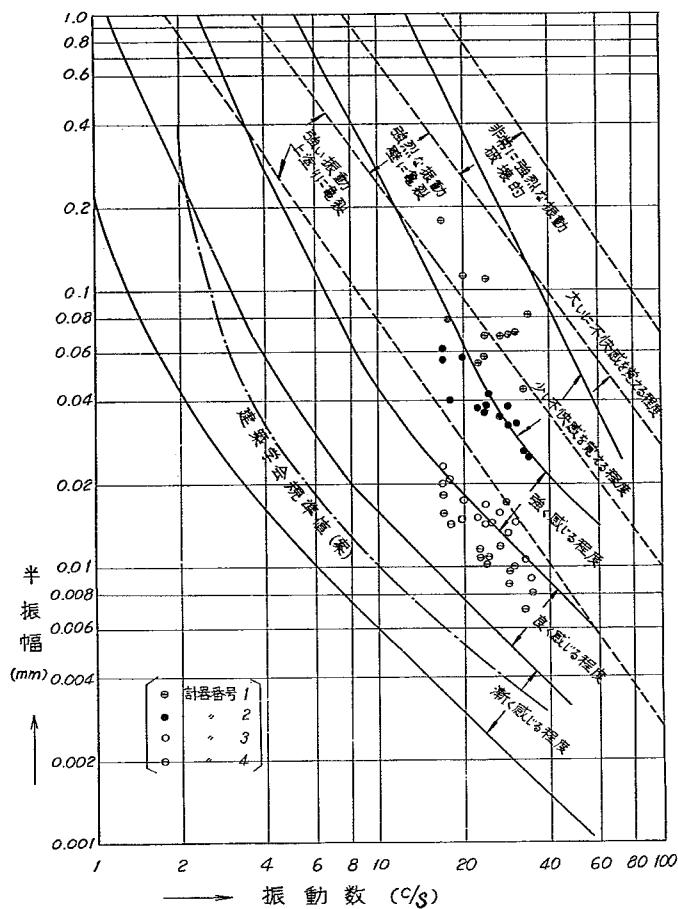


図-22 振動の影響の一例

5. 結果のまとめ

今回のくい打込みにともなう振動測定の結果より次のようなことが指摘される。

- (1) くい打込み状況は下部構造設計指針くい基礎の施工篇の規定と合わせるとほぼ妥当であり、Hilley の公式によって許容支持力を求めると、直ぐいで約 140t、斜ぐいで約 170t の支持力が期待されるが、この他の条件により制限されるため、必ずしもこれが許容支持力にならないことは注意を要する。しかし、支持力については十分と考えてよい。
- (2) くい打込みによって発生した最大加速度は水平方向には 340gal、鉛直方向には 590gal が測定され、鉛直方向の加速度と水平方向の加速度比は大略 1～2 倍ぐらいであるものと考えられる。
- (3) くい打込みによって発生する振動の周期は約 0.03～0.05 sec ぐらいで減衰定数は約 0.07～0.11 ぐらいである。
- (4) 加速度計の結果と速度計の結果を対比すると、ほぼ両者の測定結果は等しいと考えられ、近似的に 1 つの波についてのみ正弦波的な取り扱いをしてよいと考えられる。これにより、変位を求めてみると、最大値でだいたい次の値位、地盤が動いていると考えてよい。

試験ぐい Ⅱ 1 0.10 mm

 " Ⅱ 8 0.08 mm

 " Ⅱ 19 0.31 mm

- (5) 距離による振動速度の減少の傾向としては、ほぼ妥当な値を測定できていると考えられる。しかし、表面波であるという仮定に基づいた計算結果によると各測定値の減衰性がやや小さい目に表われているようである。
- (6) 振動時の地盤の動きとして、質点の運動軌跡を描いたが、定性的な結果は得られなかった。
- (7) 人体感覚に及ぼす影響は Meister の人体感覚曲線にあてはめてみると、かなりの振動を感じる範囲にあると判定される。

また、建物への影響として、英国の B.R.S による被害曲線と比較してみたが、被害あるかも知れないという範囲に入っていると考えてよい。

しかし、Meister の人体感覚曲線も建物の被害曲線もその一例にすぎず、まえがきにもふれたように、それを絶対視することはできず、個々の立場で判断が異なってくる。したがって、今回の測定ではかなり振動を感じる範囲に家屋があったという結果のみでおえたい。

6. あ と が き

今回のくい打込みにともなって発生する振動の測定は、振動の影響範囲を調べて欲しいという静岡県からの依頼に基づいて行なったもので、振動速度での表示に基づくその大きさの測定だけに目的がおかれていた。したがって、地盤振動の伝播、くい打込みにより発生する振動の状況などについてまとめるには、はなはだ資料不足である。

近頃、公害のひとつとしてくいの打込みが取り上げられはじめに、住民の苦情、補償などの問題が今後、目立つ可能性はある。基礎研究室でも、くいの打込みにともなう振動問題を取り上げて研究しなければならないが、このような振動測定の機会になかなかめぐまらなかった。したがって、現在までの振動測定結果の傾向に基づいて敢えて本測定結果をまとめたものである。

そのため、はなはだ中途半端な結果にしかまとまっていなかったが、今後このような測定に対する一資料となればと考えている。

今後、建設工事に対する規則がまとめられるのは明らかであるが、このような資料を数多く集める必要がある。現在、土木学会関西支部などで振動問題の研究、調査が進められており、それらの結果により規準がまとめられる日も遠くないと思われる。

本測定に関して、多大の御世話になった静岡県土木部計画課および島田土木事務所の方々に感謝の意を捧げる。

以下に本資料をまとめるに際して参考とした文献を挙げておく。

1. 土木学会，土木技術者のための振動便覧，昭和41年8月
2. 土木学会関西支部，騒音・振動公害，昭和43年3月
3. 日本道路協会，道路橋下部構造設計指針くい基礎の施工篇，昭和43年11月
4. 青木楠男，竹山謙三郎監修，コンクリートパイルハンドブック，山海堂，昭和41年8月
5. 沼田政矩，飯吉精一監修，土木施工ポケットハンドブック，オーム社，昭和43年8月

付

録

振動速度と距離の関係図

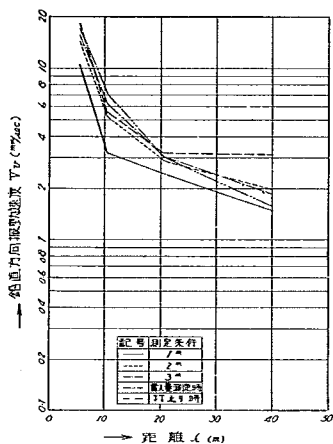


図 - 23 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 2)

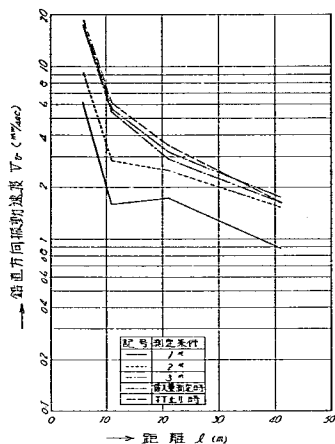


図 - 24 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 3)

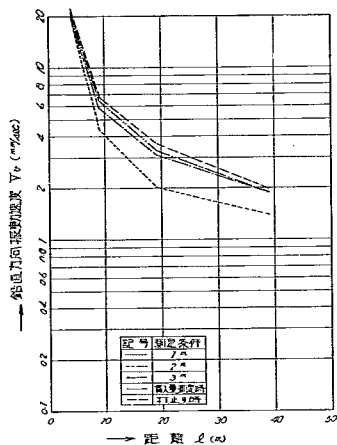


図 - 25 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 4)

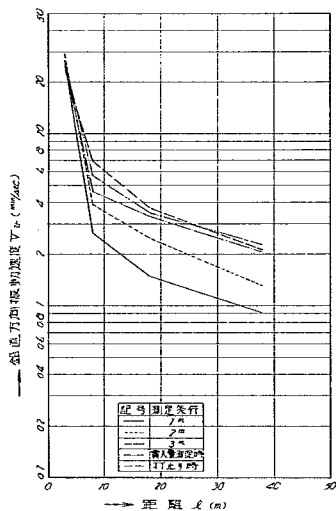


図 - 26 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 5)

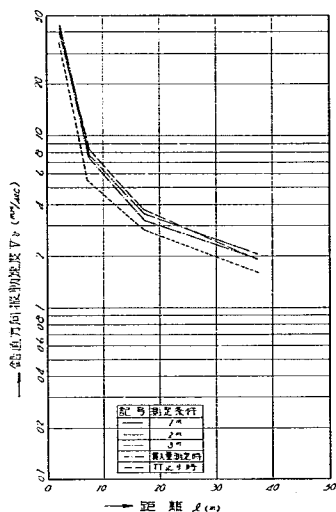


図-27 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね6)

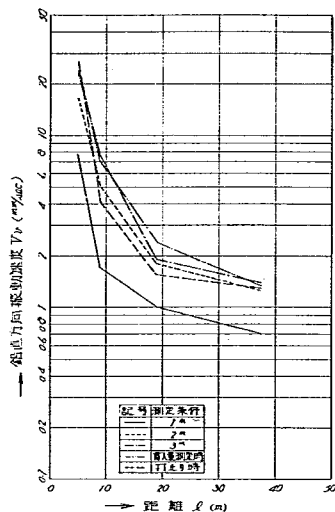


図-28 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね7)

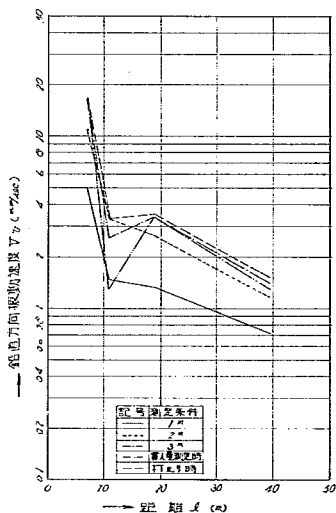


図-29 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね9)

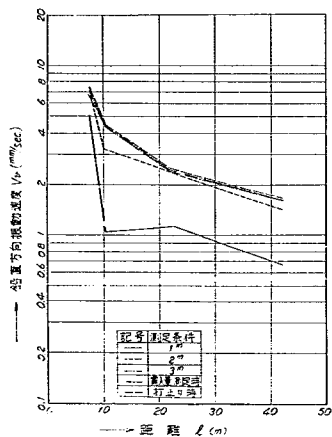
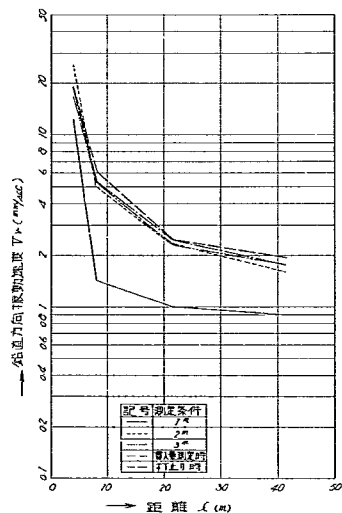
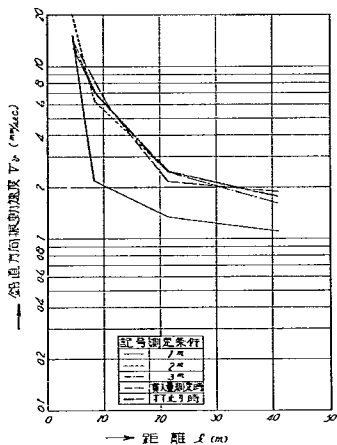
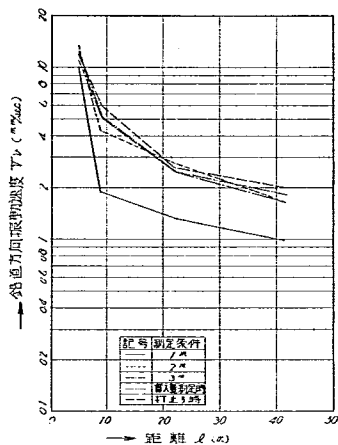
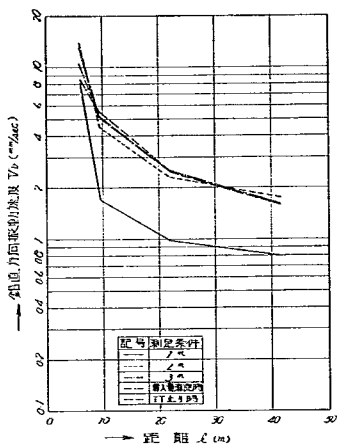


図-30 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね10)



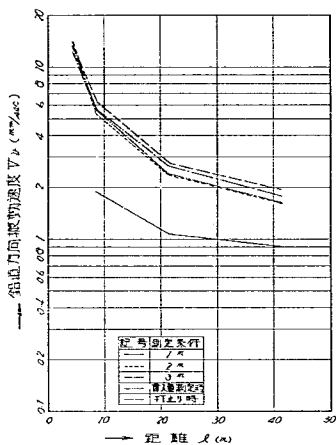


図 - 35 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 15)

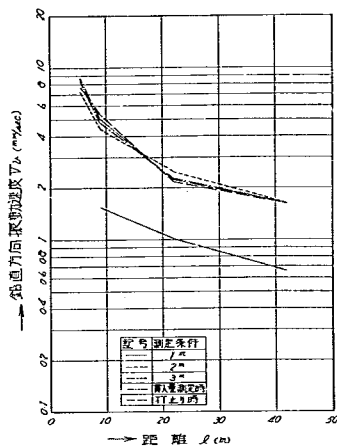


図 - 36 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 16)

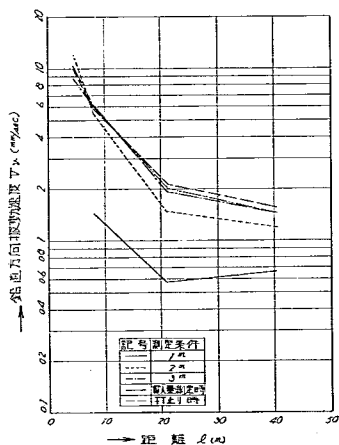


図 - 37 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 17)

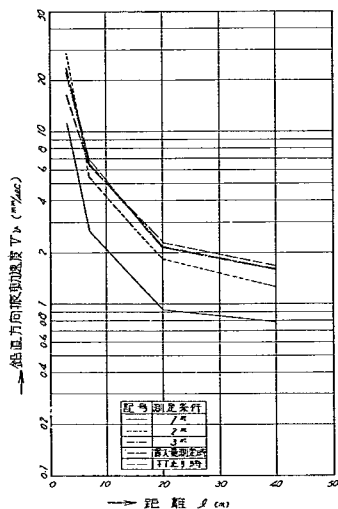


図 - 38 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 18)

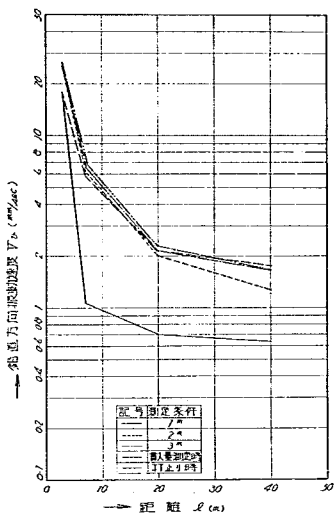


図 - 39 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 20)

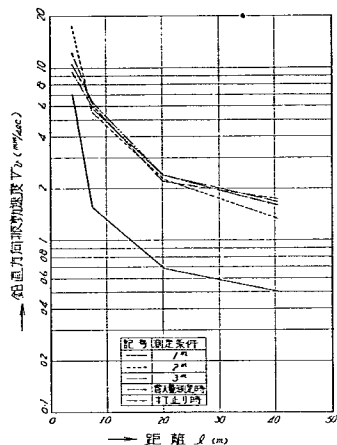


図 - 40 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 21)

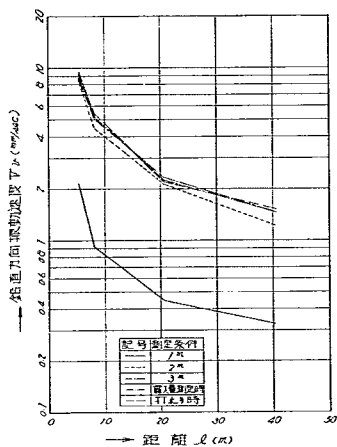


図 - 41 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 22)

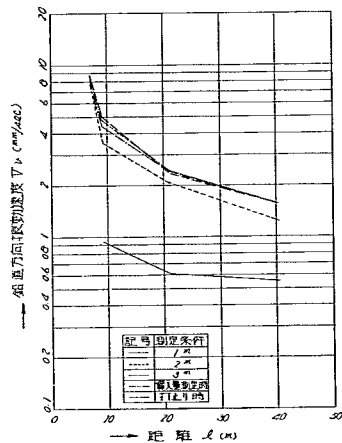


図 - 42 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 23)

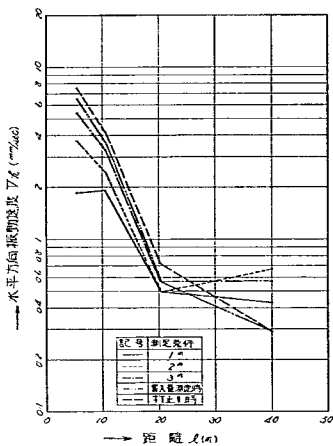


図 - 43 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 2)

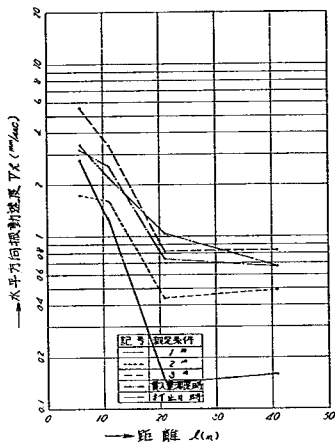


図 - 44 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 3)

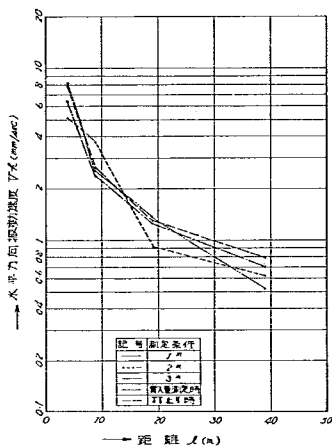


図 - 45 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 4)

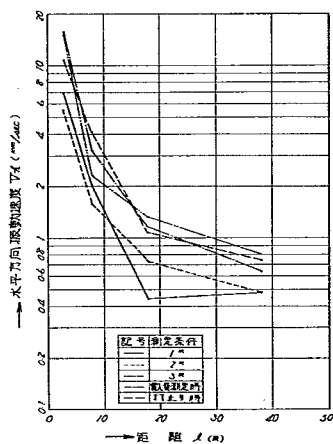


図 - 46 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 5)

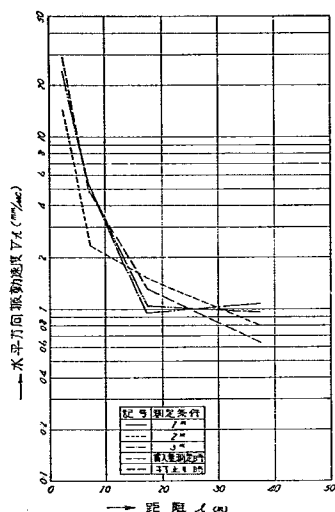


図 - 47 距離と振動速度の関係
(試験ぐい № 6)

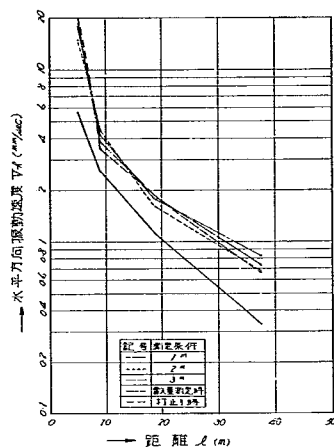


図 - 48 距離と振動速度の関係
(試験ぐい № 7)

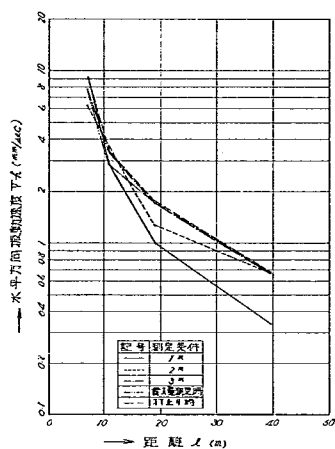


図 - 49 距離と振動速度の関係
(試験ぐい № 9)

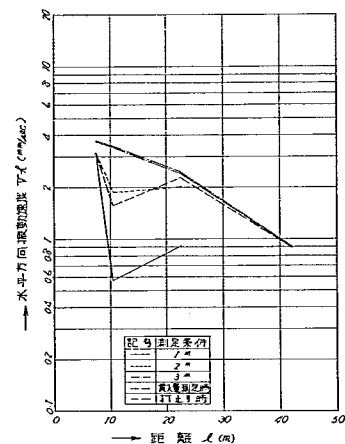


図 - 50 距離と振動速度の関係
(試験ぐい № 10)

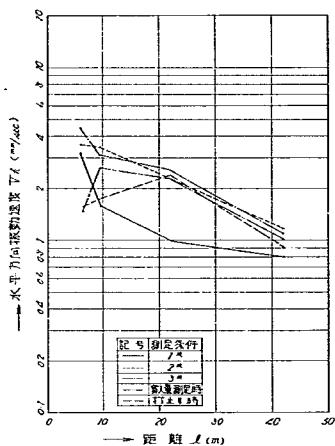


図 - 51 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 11)

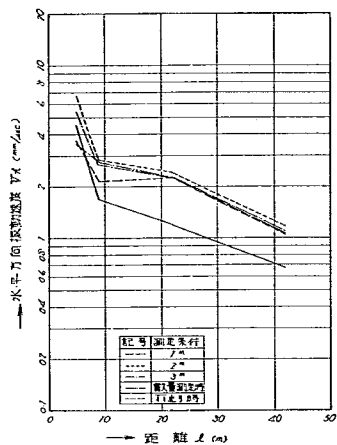


図 - 52 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 12)

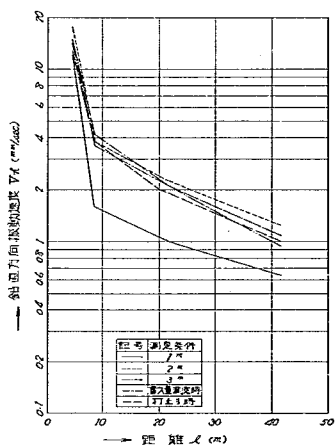


図 - 53 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 13)

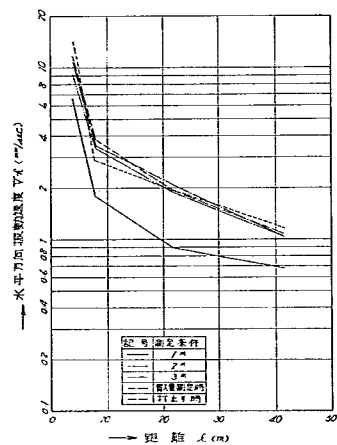


図 - 54 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね 14)

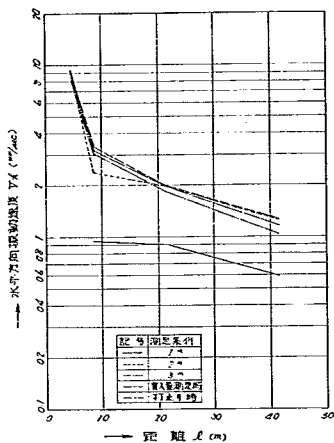


図-55 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね15)

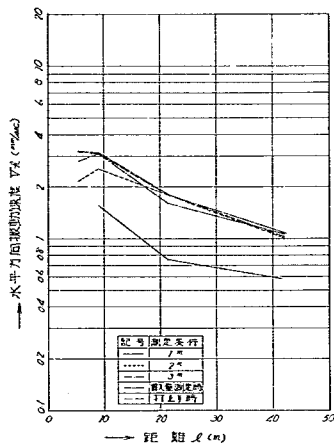


図-56 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね16)

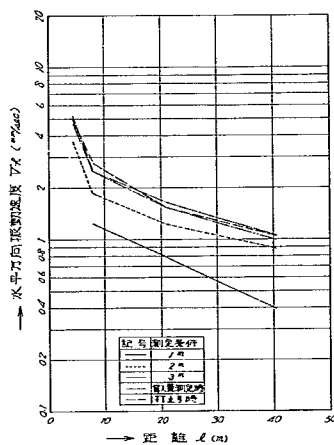


図-57 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね17)

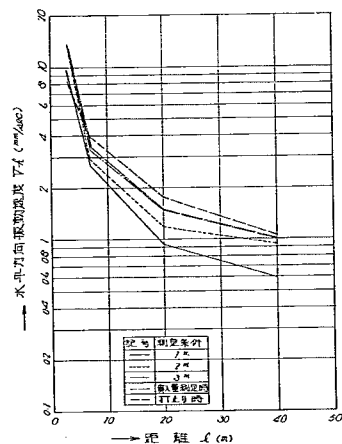


図-58 距離と振動速度の関係
(試験ぐいね18)

