

港灣技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No.353 Sept. 1980

杭打船の騒音、振動調査

秋 岩 大 中 轟	園 崎 友 島	純 峯 忠 達	一 夫 健 男 夫
-----------------------	------------------	------------------	-----------------------

運輸省港灣技術研究所



目 次

1. ま え が き	3
2. 公害振動の基礎知識	3
2.1 公害振動の特性	3
2.2 公害振動の単位	4
2.3 公害振動計の動特性	5
3. 測 定 内 容	5
3.1 測 定 概 要	5
3.2 騒 音 測 定	7
3.3 振 動 測 定	7
4. 騒音測定結果	8
4.1 暗 騒 音	8
4.2 方 向 特 性	8
4.3 距離減衰とパワーレベル	9
4.4 時間特性と周波数特性	10
5. 振動測定結果	16
5.1 暗 振 動	16
5.2 距 離 減 衰	17
5.3 時間特性と周波数特性	17
6. 結 論	19
7. あ と が き	20
付録 衝撃騒音計について	20
1. 衝撃騒音の定義	20
2. 衝撃騒音計の特性	20
参 考 文 献	22

Ambient Noise and Vibration of a Pile Driving Barge

Jun-ichi AKIZONO*
Mineo IWASAKI**
Ken OTOMO***
Tadao NAKAJIMA****
Tatsuo TODOROKI*

Synopsis

Measurements of ambient noise and vibration were carried out on a pile driving barge with a diesel pile hammer.

It becomes clear that a pile driving barge can be considered as a point sound source at a distance more than 70 m away.

The sound power level calculated by the theory of a point sound source is 139–142 dB in A scale at the beginning of piling. The sound level decreases as the penetration of pile increases.

It is considered that the noise of the diesel pile hammer consists of blowing noise whose frequency is 400 – 500 Hz and exhaust noise whose frequency is higher than that of blowing noise. The proportion of these two noises is estimated to change with the penetration of pile.

In this case, the measured value of the piling noise in 'impulse' position is about 2 dB higher than that in 'fast' position.

The acceleration of piling vibration decreases approximately at the inverse square of the distance between the pile hammer and the measuring point like the sound intensity around a point sound source.

* Member of the Dredger and Construction Equipment Laboratory, Machinery Division
** Chief of the Dredger and Construction Equipment Laboratory, Machinery Division
*** Chief of the Machinery Section, Machinery Division
**** Senear Research Engineer, Machinery Division

杭打船の騒音、振動調査

秋園 純一*

岩崎 峯夫**

大友 健***

中島 忠男****

轟 達夫*

要 旨

港湾工事に供される杭打船について、騒音、振動調査が行われた。調査された杭打船に装備されている杭打機はデーゼル式である。

騒音の測定項目は、暗騒音、方向特性、距離減衰特性、時間特性、周波数特性であり、振動の測定項目は、暗振動、距離減衰特性、時間特性、周波数特性である。

杭打船の騒音、振動は衝撃的であり、また、土質や貫入深さによっても特性が変わるため、それらの点に留意して測定、解析を行った。その結果、つぎのことが明らかになった。

杭打船の騒音には方向性がなく、打ちはじめの音響出力レベルPWL(A)はfastポジションで139～142 dB(A)であり、70 m以上離れると点音源とみなすことができる。

杭打騒音は、400～500 Hz にピークを持つ打撃音と、それより高い周波数を持つ排気音からなり、その割合と出現時間は杭の貫入深さによって異なる。全体として杭打騒音は杭の貫入深さが大きくなるにつれて小さくなる。

本杭打船の騒音の場合、impulseポジションでの測定値はfastポジションでの測定値よりも約2 dB大きくなることがわかった。

杭打振動は点音源と同様に、距離の二乗に反比例する距離減衰特性を持っており、杭打機から6.5 mの点で約92 dB、39 mの点で約70 dB、71 mの点で約66 dBであった。

また、杭打振動は杭打機に近いほど時間減衰しにくいことがわかった。

1. まえがき

環境問題が重要な関心事となっている情勢下においては、陸上土木工事と同様に港湾工事の施工においても環境に対する影響を考慮しなければならなくなってきた。

このような状況に対応して、環境に対する港湾工事施工の影響を的確にはあくし、定性的、定量的な評価、分析を行うことにより、それを未然に、あるいは許容限界以下の範囲におさえるための対策を確立する必要性が生じている。

本調査は港湾工事に供される杭打船の騒音、振動について、発生源、発生量、特性、および、伝播状態を定量的に測定、解析したものであり、杭打船の騒音、振動の

防止対策を検討するための資料を得ることを目的としている。

2. 公害振動の基礎知識^{1)～3)}

2.1 公害振動の特性

人体が振動を受けるとき、その振動の性質や振動を受ける部位によって振動に対する感じ方が異なっている。

全身の振動感覚については、ISO(国際標準化機構)により等感曲線といき値が図-1のように示されている。

等感曲線とは振動数が変わっても等しい感覚を与える振動加速度を表わす曲線をいい、いき値とは人間が振動を

* 機材部 作業船研究室

** 機材部 作業船研究室長

*** 機材部 機械課長

**** 機材部 主任研究官

表-1 気象庁震度階と加速度レベルの比較

震度階	加速度 〔Gal〕	振動加速度レベル 〔dB〕 0 dB = 10 ⁻⁵ m/s ² rms	呼び名	現 象
0	0.8 以下	55 dB 以下	無 感	人体には感じない
1	0.8 ~ 2.5	55 ~ 65	微 震	静止する人にだけ感じる
2	2.5 ~ 8	65 ~ 75	軽 震	一般の人が感じ、戸や障子がわずかに動く
3	8 ~ 25	75 ~ 85	弱 震	家屋動揺、電燈、器中の水面の動揺がわかる
4	25 ~ 80	85 ~ 95	中 震	家屋動揺激し、すわりのわるい器物倒れる
5	80 ~ 250	95 ~ 105	強 震	家屋の壁にき裂、墓石、燈ろうが倒れる
6	250 ~ 400	105 ~ 110	裂 震	木造家屋30% 倒壊地面にき裂ができる
7	400 以上	110 以上	激 震	木造家屋30% 以上倒壊、物体投げ出さる

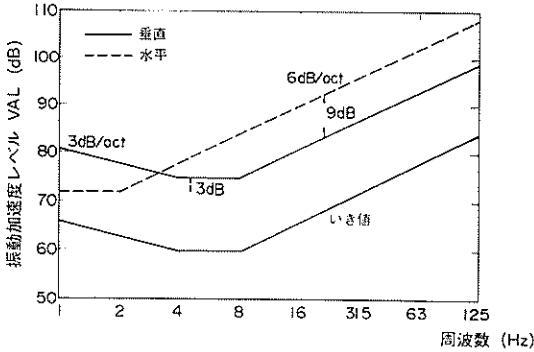


図-1 等感曲線といさ値

感じはじめる最小限の振動加速度をいう。

この等感曲線によると、垂直方向の振動の場合は、4 Hz 以下では振動数が小さくなるにしたがって感じ方が弱くなり、8 Hz 以上では振動数が大きくなるにしたがって感じ方が弱くなる。

また、水平方向の振動の場合は、2 Hz 以上では振動数が大きくなるにしたがって感じ方が弱くなる。

垂直方向と水平方向の感じ方を比較すると、水平振動は同じ加速度の垂直振動に比べて、8 Hz 以上では 9 dB も感じ方が弱くなる。

一般に、ほとんどの公害振動は 10 Hz 以上の周波数範囲にあり、また、振動源からある程度離れると加振の方向とは無関係に、鉛直方向の振動が他の方向の振動より大きなレベルで測定される。

したがって、公害振動を測定するときは鉛直方向振動を測定すればよいことが多い。

2.2 公害振動の単位

1) 振動加速度レベル VAL (dB)

1~90 Hz の振動加速度の実効値をフラットな特性で dB 表示したもので、つぎのように表わされる。

$$VAL = 20 \log \frac{A_{rms}}{A_0} \text{ (dB)} \quad (2.1)$$

ただし、 A_{rms} は振動加速度の実効値、 A_0 は振動加速度レベルを計算するための基準となる振動加速度の実効値 (10⁻⁵ m/s² rms) である。表-1 に振動加速度レベルと気象庁震度階、加速度との比較を示す。

2) 振動レベル VL (dB)

人体の振動感覚に応じて振動加速度レベル VAL を補正したもので dB 表示である。図-2 に示したように人体の等感曲線は垂直振動と水平振動とは異なっている。しかし、前述したように公害振動の大半は 10 Hz 以上の

周波数範囲にあるので、垂直方向、水平方向ともに垂直振動の等感曲線にもとづく補正を行えば十分である。

補正はつぎのように表わされる。

$$VL = VAL + W_n \text{ (dB)} \quad (2.2)$$

ここで、 W_n は振動感覚補正量で、図-2 に示すように、垂直振動の等感曲線に対応して周波数 4~8 Hz の間はフラットであり、4 Hz 以下では周波数が 1/2 倍になるごとに 3 dB ずつ、8 Hz 以上では周波数が 2 倍になるごとに 6 dB ずつ低下する。

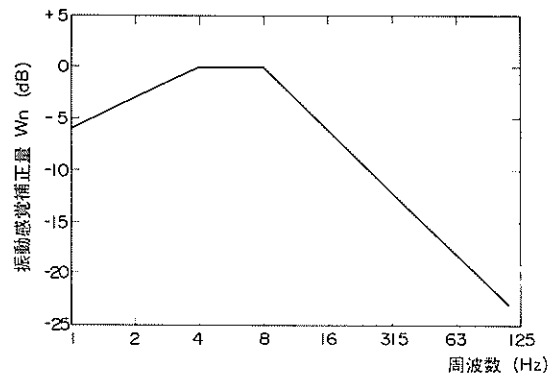


図-2 振動感覚補正図

2.3 公害用振動計の動特性

単一の衝撃振動に対する人体の振動感覚は、振動の継続時間が短くなるにつれて減少することが知られている。

そこで、公害用振動計の動特性は指示値を人体の振動感覚と一致させるため、JISによりつぎのように定められている。

「周波数 31.5 Hz、継続時間 1 秒間の正弦波入力を加えたときの最大指示は、その周波数で、振幅が等しい定常入力による指示に対して -1 ± 0.5 dB とする。」

これは、整流回路の平滑時定数で表わすと 0.6 s に相当する。

3. 測定内容

3.1 測定概要

測定場所は図-3にハッチングで示すように、東京港中央防波堤外側廃棄物処理場建設用地の第三期工事現場である。図-4に測定場所の土質図を示す。表-2に杭打船の諸元、表-3に測定項目と測定時の条件を示す。測定、解析に用いた機器はつぎのようである。

騒音計

公害用振動計

テープレコーダ

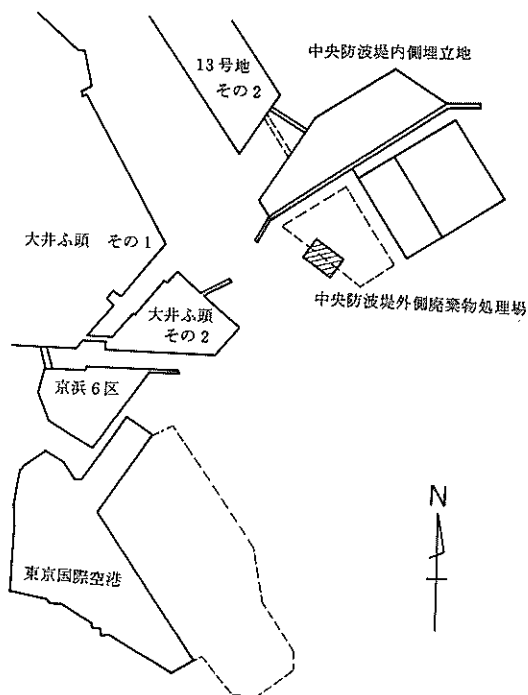


図-3 測定場所略図

表-2 杭打船諸元

船体	船体形式	鋼製箱型 非航式	
	船体寸法 L×B×D	38.0×19.3×3.4 (m)	
	喫水	2.3 m	
	満載排水量	約 1100t	
	やぐら構造	三角トラス式	
杭打機	やぐら高さ	海面上 47.2m	
	形式	ディーゼル 2サイクル単動	
	全長	5.75 m	
	全重量	18.5 t	
	ラム重量	7.2 t	
打撃	ストローク	直杭打ち	2.75 m
		斜杭打ち	3.10 m
	毎分打撃数	直杭打ち	40~60回
		斜杭打ち	38~55回
	打撃エネルギー	21.5 tm	
やぐら傾斜角	-35°~+35°		
主機	最大杭寸法および重量(垂直打ち)	直径 2m	長さ 50m 重量 46 t
	形式	ディーゼル 4サイクル単動	
	馬力	420 PS	
	回転数	900 rpm	
	補機	形式	ディーゼル 4サイクル
馬力		20 PS	
回転数		1200 rpm	

表-3 測定項目と測定条件

日付	測定項目	測定番号	温度(°C)	湿度(%)	風向	風速(m/s)
1979.10.2	準備・騒音測定 (杭打ちおよび仕上打ち)	1-1~10	22.4~22.6	70~75	20°	3~6
10.4	騒音測定 (杭打ちおよび仕上打ち)	2-1~10	21.6~22.9	78~87	315°	0~3
10.5	騒音測定 (方向特性)	3-1~5	23.1~25.0	57~70	315°~45°	3~7.5
10.8	振動測定 (方向特性)	3-1~5	19.5~22.8	70~82	180°~190°	2~6
10.9	騒音測定 (硬土盤)	4-0~11	21.0~27.0	41~64	45°	0~3

データレコーダ
 周波数分析器
 レベルレコーダ
 高速グラフィックレコーダ
 デジタルメモリー
 光学式測距儀
 手持式コンパス

杭打ちによる騒音、振動は衝撃的であるため、測定値としては最大指示値を用いることにした。

対象となる杭は、直径1320.8mm、厚さ12mm、長さ23.5mまたは28.5mの鋼管矢板である。図-5に示すように杭と杭の間に止水モルタルグラウト注入用の継手鋼管を溶接してあるため、杭打ち後の中心間距離は1619.3mmとなる。図-6に示すように、作業現場は水深約6mで、杭は水面上約2.5m出るように打たれる。

凡 例

時代	地層名	記号	土質名
沖積世	上部 有楽町層	Ac1	粘性土
		As1	砂質土
	下部 有楽町層	Ag1	砂レキ
		Ag2	砂レキ
洪積世	七尋地層	As2	砂質土
		Ac2	粘性土
	東京層	Nas	砂質土
		Nac	粘性土
		Ds1	砂質土
		Dc1	粘性土
		Ds2	砂質土
Dg	砂レキ		
Ds3	砂質土		

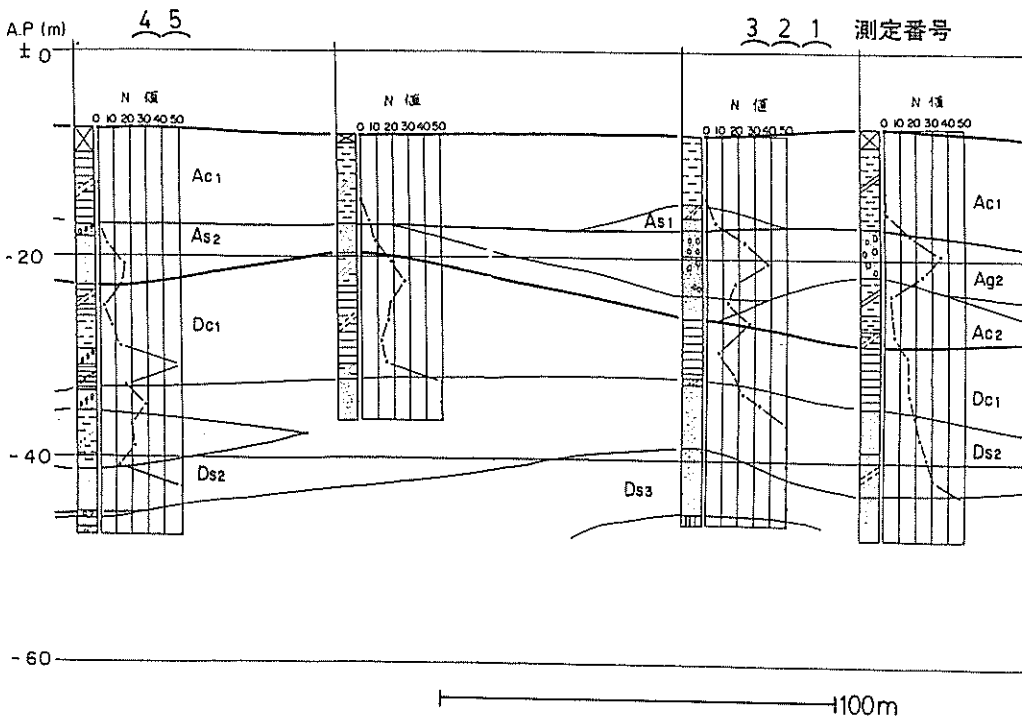


図-4 土質図

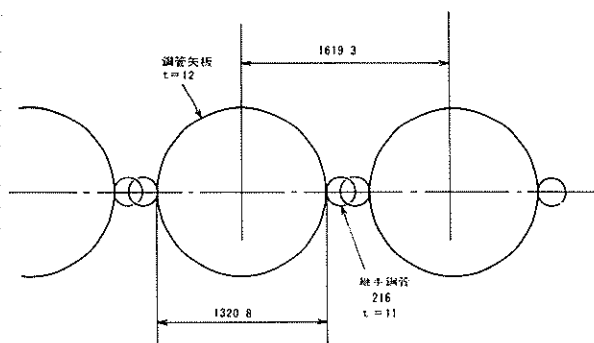


図-5 杭の寸法と打込み間隔

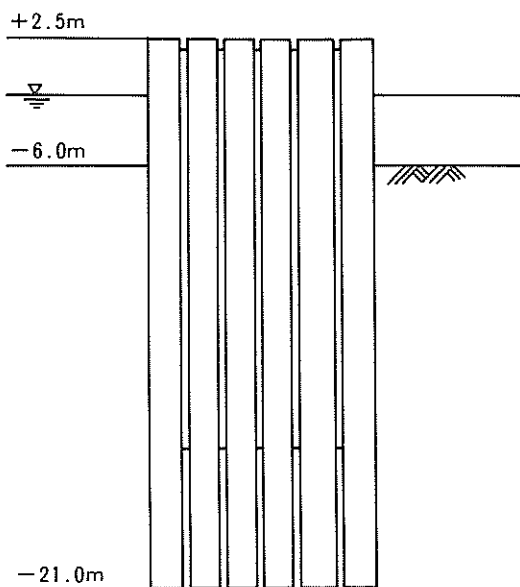


図-6 打込み後の杭の状態

3.2 騒音測定

杭打騒音は、時間により杭の貫入深さが変化し、場所と深さにより土質が変化するので特性が変わり、また、各打撃ごとのばらつきも大きい。そこで、騒音の距離減衰の測定は、同時測定を行うため杭打機から70mおよび200mの2点で2台の騒音計を用いて行った。

また、衝撃騒音の測定法は、JISではまだ規定されておらず、IEC (International Electrotechnical Commission) によって定められている。このIEC規格⁴⁾によれば、衝撃騒音の測定に用いられる衝撃騒音計は、impulseポジションのとき、整流器のあとのRC結合の時定数として0.035sを用いることになっている。

ところが、現在広く用いられているのは、簡易騒音計、普通騒音計、あるいは、精密騒音計であり、その動特性はfastとslowであって時定数が衝撃騒音計のimpulseとは異なっている。すなわち、JISによれば、fastは、周波数1000Hz、継続時間0.2sの正弦波入力による最大指示が、周波数と振幅の等しい連続音による指示に対して-1dB、slowは、同様に継続時間0.5sの入力による最大指示が-4dBとなる動特性と規定されている。これを、整流回路のあとのRC結合の時定数で表わすと、fastは0.125s、slowは1sとなる。

そこで、今回の測定では騒音を録音し、それを時定数を切換えることのできる高速グラフィックレコーダを用いて再記録することにより、時定数の違いによる騒音レベルの測定値の差をも調べることにした。本文中で騒音の測定値として述べてある値は、特にことわらない場合はfastポジションで測定した値である。

杭打機の機構から考えて、杭打騒音は低周波成分を含まないと考えられるので、録音にはテープレコーダを用いることにした。また、測定は騒音レベルSL(A)を主とした。

騒音測定項目は、暗騒音、距離減衰特性、方向特性、時間特性、周波数特性である。

なお、騒音測定に用いる単位については、先に行ったポンプ船の騒音調査報告書⁵⁾にまとめてあるので参照されたい。

3.3 振動測定

一般に、公害振動の測定は土盤上で行うのが普通である。しかし、今回の実験場所は海面上であり、測定を行うような土盤が水面上には存在しない。そこで、すでに打込みの終わった杭の上部に、治具を用いて振動ピックアップを取付けて測定を行うことにした。

測定方向は鉛直方向のみとした。測定項目は、暗振動、距離減衰特性、周波数特性、時間特性である。測定は振動レベルVLを主とした。

杭打ちによる振動は騒音と同様に打込みによる特性の変化があるので、距離減衰の測定は2点で同時測定することにより行った。測定の都合上、杭打機から遠い点を固定測点とし、もう一方を移動測点として、杭打機から6.5mから72.9mの間で測定した。その際、杭打機からの距離は、杭打機から何本目の杭の上で測定しているかを数えることによって計算した。

打撃されている杭の振動も測定する予定であったが、やってみたところ、最初の打撃で振動ピックアップが治具とともに脱落してしまっただけで中止した。

4. 騒音測定結果

4.1 暗騒音

騒音測定時に、測定場所における対象の騒音以外の騒音を対象の騒音に対して暗騒音という。暗騒音と対象の騒音の差が小さい場合には測定値に影響があるので、補正を行う必要がある。対象の騒音があるときとないときのレベルの差が10 dB以上のときは補正を行う必要はない。差が10 dB未満3 dB以上のときは補正ができ、補正量は表-4に示すとおりである。差が3 dB未満のときは補正しても意味がない。

表-4 暗騒音による補正值

レベル差 (dB)	補正值 (dB)
3	-3
4~5	-2
6~9	-1
10以上	0

杭打船が杭の立てこみのため杭打ちを中止している間に、杭打船のブリッジ上の杭打機から20 mの点と、船首方向に70 mおよび200 m離れた点で測定した暗騒音を、杭打騒音とともに表-5に示す。ただし、測定区域近辺では測定対象の杭打船を含めて5隻の杭打船が稼働しており、すべての杭打船が杭を打っていないという状態はほとんどなかった。表-5によると、杭打機から、70 mの点と200 mの点では暗騒音と杭打騒音との差が10 dB以上あるので、暗騒音は杭打騒音の測定値に影響を与えない。

表-5 暗騒音の測定値

杭打機からの距離 (m)	20	70	200
暗騒音の音圧レベル (dB)	89~92 (C)	82~84 (F)	76~78 (F)
杭打時の騒音の音圧レベル (dB)	97~104 (C)	95~108 (F)	88~108 (F)

(C)はC特性、(F)はフラットな特性を表わす。

杭打機から20 mの点では、その差が5~15 dBであるので補正量は-2~0 dBであり、特に杭打騒音のレベルが小さい場合のみ暗騒音を考慮すればよい。

暗騒音は杭打機に近いほど大きくなっている。これは杭打船の主機および補機から出る騒音に影響しているのではないかと考えられる。

暗騒音の周波数分析結果は図-7に示すようであった。

これによると、距離により音圧レベルには差があるがいずれも50 Hz付近にピークを持っており、過去にボン

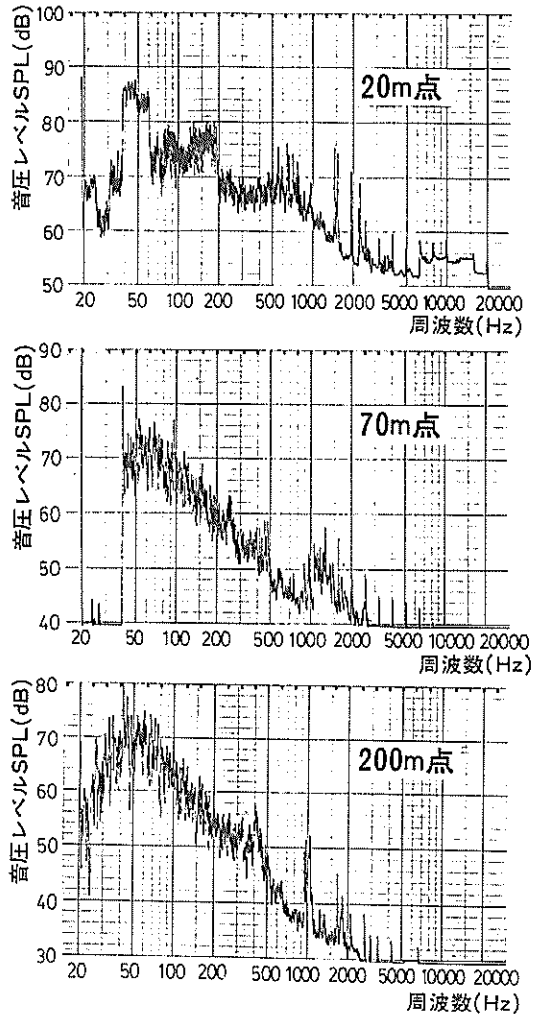


図-7 暗騒音の周波数特性

ブ船の騒音調査¹⁾を行ったときと同じ傾向である。20 m点の場合60 Hz~200 Hzの間の形が他と少し違うがこれは20 m点はブリッジ上であるので杭打船から出る音の影響があるためではないと思われる。

いずれも、500 Hzと1000 Hz付近に小さなピークがあるのは後述する杭打音の周波数、分析結果からみて他の杭打船の杭打騒音の影響と考えられる。

4.2 方向特性

杭打船は船首部に杭打機を有し、船体後部にブリッジを有している。杭打機は露出されており、4個の排気管が周囲に等間隔についているのと、やぐらの構造から考えて、杭打騒音には方向性はほとんどないと考えられたが、実際に確かめてみた。

図-8に杭打機を中心とする半径約100mの円周上の各点で測定した杭打騒音のレベルを示す。このとき、20m点で測定した値は100～104 dB(C)であった。

係船索の関係であり多くの角度での測定はできなかったが、図-8によれば杭打騒音には方向性がないことがわかる。

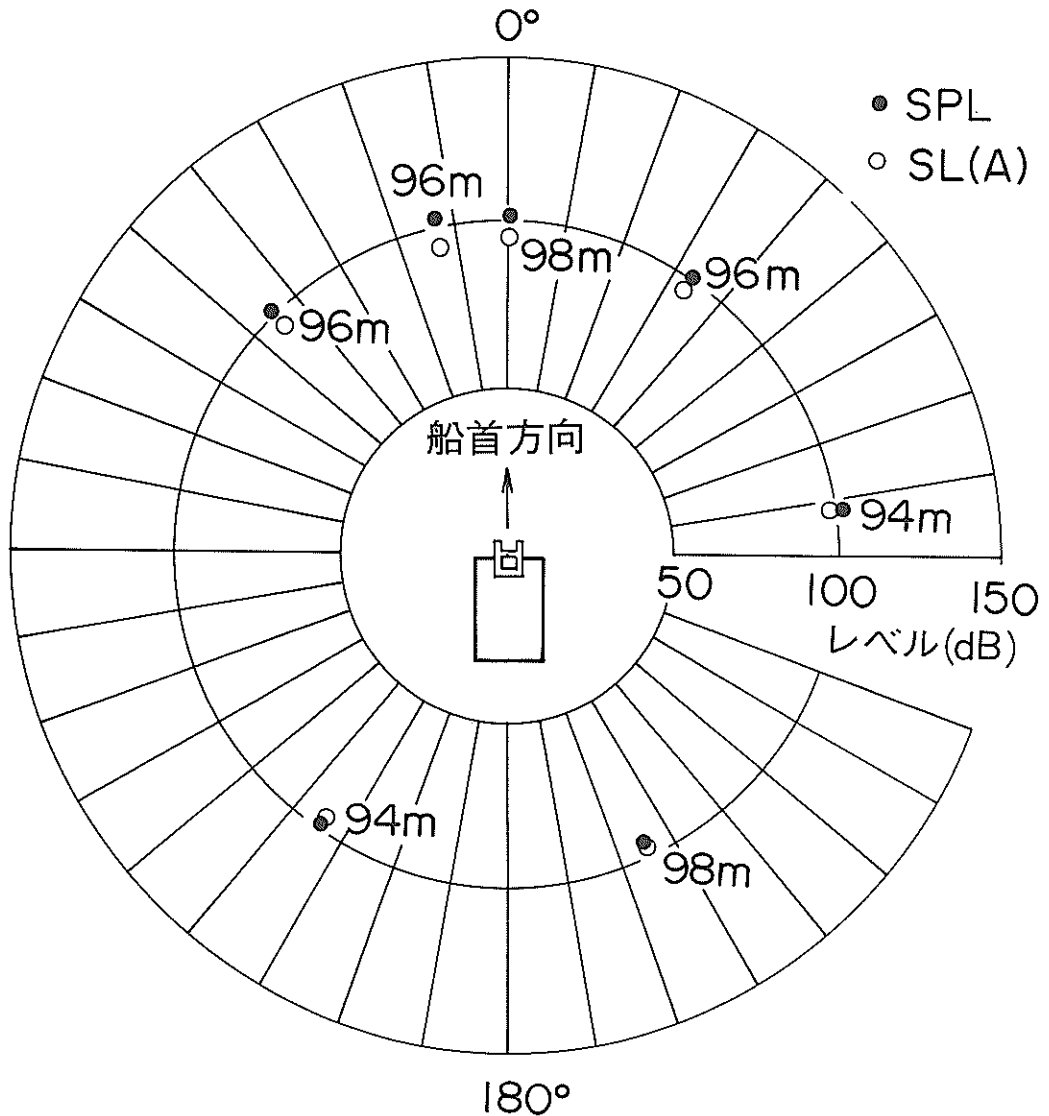


図-8 杭打騒音の方向特性

4.3 距離減衰とパワーレベル

4.2で杭打騒音には方向性がないことがわかったので、距離減衰の測定は一方向だけとした。つまり、測定点は杭打船の船首方向に杭打機から70mおよび200m離れた点とした。また、杭打騒音は衝撃的であるので、測定は2台の騒音計を用いて同時に行った。

図-9に騒音レベルの距離減衰特性を示す。騒音レベルの測定値には変動があるため、距離による差を示してある。測定番号によってばらつきはあるが、点音源の場合の距離減衰特性の傾きで直線を引くと実線のように平均的にみると一致している。よって、杭打船の騒音は70m以上離れれば点音源とみなすことができ、距離

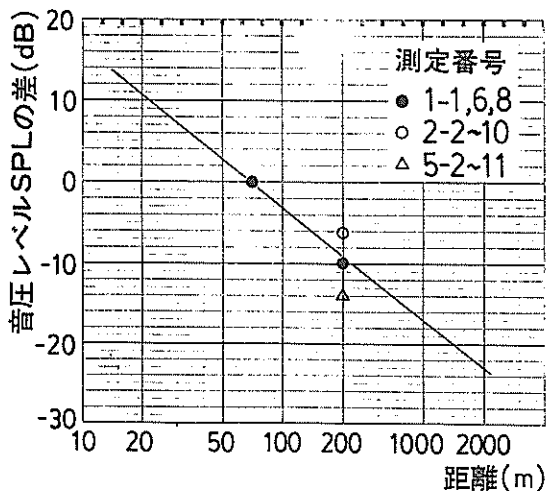


図-9 杭打騒音の距離減衰特性

の二乗に反比例する距離減衰特性を持っていると言える。

以上の結果にもとづいて計算した杭打船の音響出力レベルPWL(A)は、測定番号1-1, 6, 8の場合139 dB, 測定番号2-2~10の場合142 dB, 測定番号5-2~11の場合140 dBである。

4.4 時間特性と周波数特性

杭打ちが進むにつれて、杭の貫入深さが大きくなり、支持力が増加するので打込みにくくなる。このため、杭の貫入深さが大きくなるほど杭打機のラムの跳ねあがり高さが大きくなる。そこで、今回調査した型式の杭打機は燃料の供給を自動的に加減してラムの跳ねあがり高さを一定に保つような機構となっている。

以上の結果、杭の貫入深さにより杭打騒音の特性が変わることが考えられる。

それを調べるため、代表的な測定例(測定番号2-10の70m点)について騒音レベルSL(A)を記録したものが図-10である。ただし、杭長は28.5mで杭打時間は約21minであり、そのうち、中間まで打込むのに要した時間は約9.5minであった。図-10によると、各打込みごとにばらつきはあるが平均的にみて、打込みはじめは約89 dB, 中間は約87 dB, 打ちおわりは約80 dBと、しだいに小さくなっていることがわかる。

この理由をより詳しく調べるため、高速グラフィックレコーダを用いて波形を調べてみた。波形観察に用いた高速グラフィックレコーダの変換分解能は7ビットで、120個のピンにより放電記録され、変換周期は30μsである。

図-11に図-10のそれぞれの最初の3個の杭打騒音

の波形を示す。これによると、打ちはじめと中間の波形はほぼ同じ形であるが、打ちおわりの波形は二つのピークを持っている。

杭打騒音の繰返し間隔は、打ちはじめは1.27s, 中間は1.3s, 打ちおわりは1.37sと、杭の貫入深さが大きくなるにつれて長くなっている。また、杭打騒音が減衰して一定値に達するまでの時間は、打ちはじめは0.4s, 中間は0.4s, 打ちおわりは0.27sと、杭の貫入深さが大きくなるにつれて短かくなっている。

このように、杭の貫入深さにより騒音レベルだけでなく騒音の特性自体が変化していることがわかった。そこで、さらに詳しく調べるため、図-11のそれぞれの最初の杭打騒音をデジタルメモリーで記録して図化してみた。このデジタルメモリーの記憶容量は8192 word, 変換分解能は8 bit, 書込み速度は0.1ms/wordである。

図-12に打ちはじめの場合を示す。これによると、最初の音が減衰しはじめたあとの矢印で示す区間に、最初の音よりも周波数の高い音が存在しているのがわかる。

この音は急に消失し、そのあとは最初の音と同程度の周波数の音がしだいに減衰していつている。

図-12ではわかりにくいですが、実際には時間軸をもっと伸ばして観察した。その結果、この途中から現われる周波数の高い音は、打ちはじめでは110msから137msの間、中間では101msから142msの間、打ちおわりでは93.6msから125msの間存在しており、杭の貫入深さが大きくなるにつれて出現時間が早くなっていることがわかった。

また、杭の貫入深さが大きくなるにつれて振幅は小さくなっている。その割合は途中から現われる周波数の高い音の方が、最初に現われる音よりも小さく、杭の貫入深さによる影響を受けにくいようである。

ディーゼル式杭打機の作動順序は、

- 1) 給油, 圧縮行程
- 2) 打撃
- 3) 燃焼行程
- 4) 排気行程
- 5) 吸気, 掃気行程
- 6) 落下行程

に分けられる。これから考えると、杭打騒音の途中から現われる周波数の高い音は排気音である可能性が強い。

そこで、杭打機の作動状態を考察してみた。

杭の打ちおわりでは杭は貫入しにくくなるので燃焼による爆発力は主としてラムを押しあげるために使われる。

そこで、前述したようにラムの跳ねあがり高さが一定になるよう燃料の量が調節されるようになっている。し

かし、図-11 をみると杭の貫入深さが大きくなるにしたがって、杭打騒音の繰り返し間隔が長くなっている。これは、実際には杭の貫入深さが大きくなるにしたがってラムの跳ねあがり高さが大きくなっているためであると考えられる。ラムの上下動は機構学的には自由なので、跳ねあがり高さが大きいということは跳ねあがり速度が大きいことを意味している。

ところで、杭打機の吸排気口はラムが一定位置まで上昇すると開く機構になっているので、跳ねあがり速度が大きいほど打撃から排気行程に移るまでの時間が短くなると考えられる。

ゆえに、杭打騒音の途中から現われる周波数の高い音を排気音であるとするれば、杭打騒音の時間特性をうまく説明できる。つまり、杭打騒音は打撃音の途中に排気音

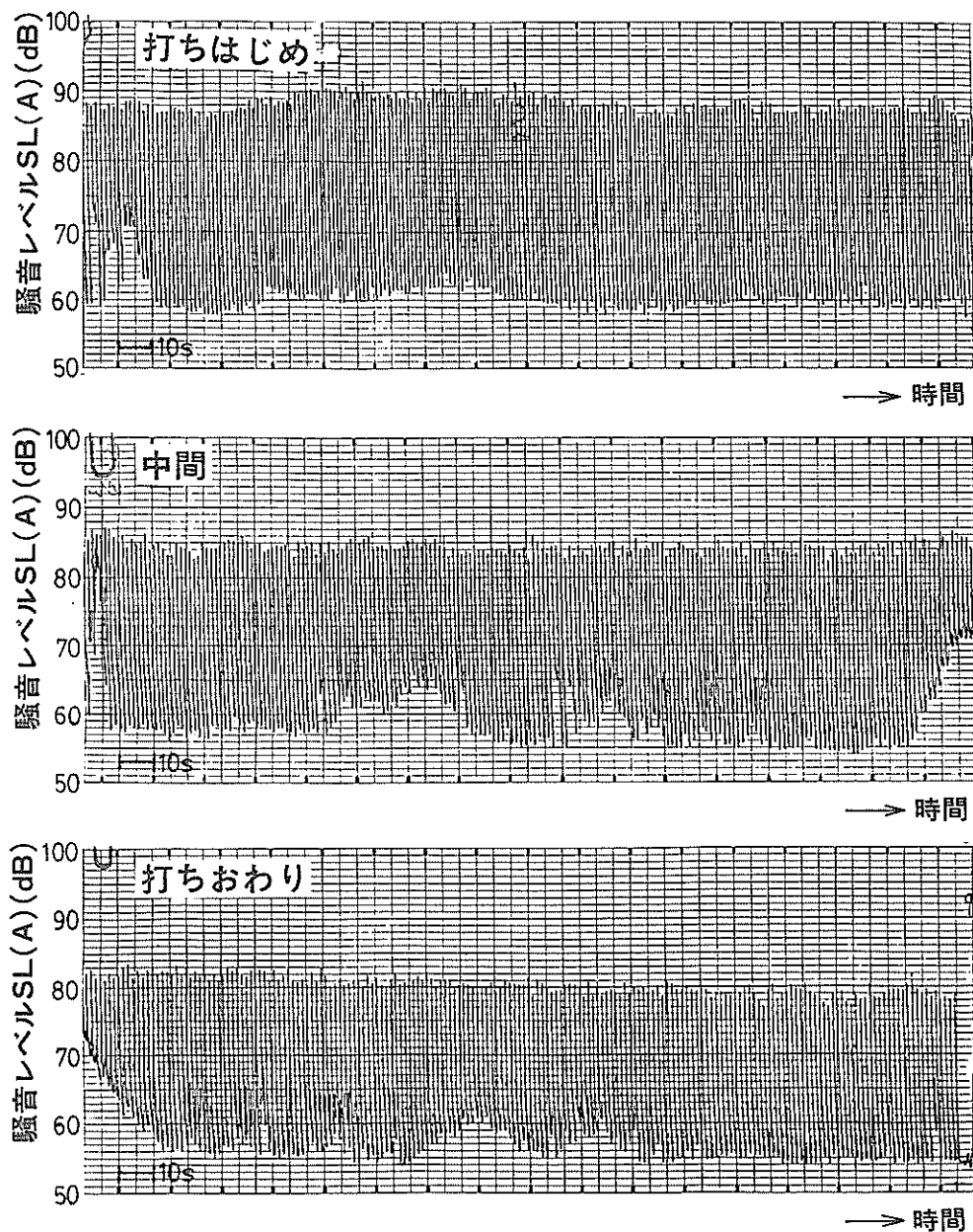


図-10 杭の貫入深さによる騒音レベルの変化(70m点)

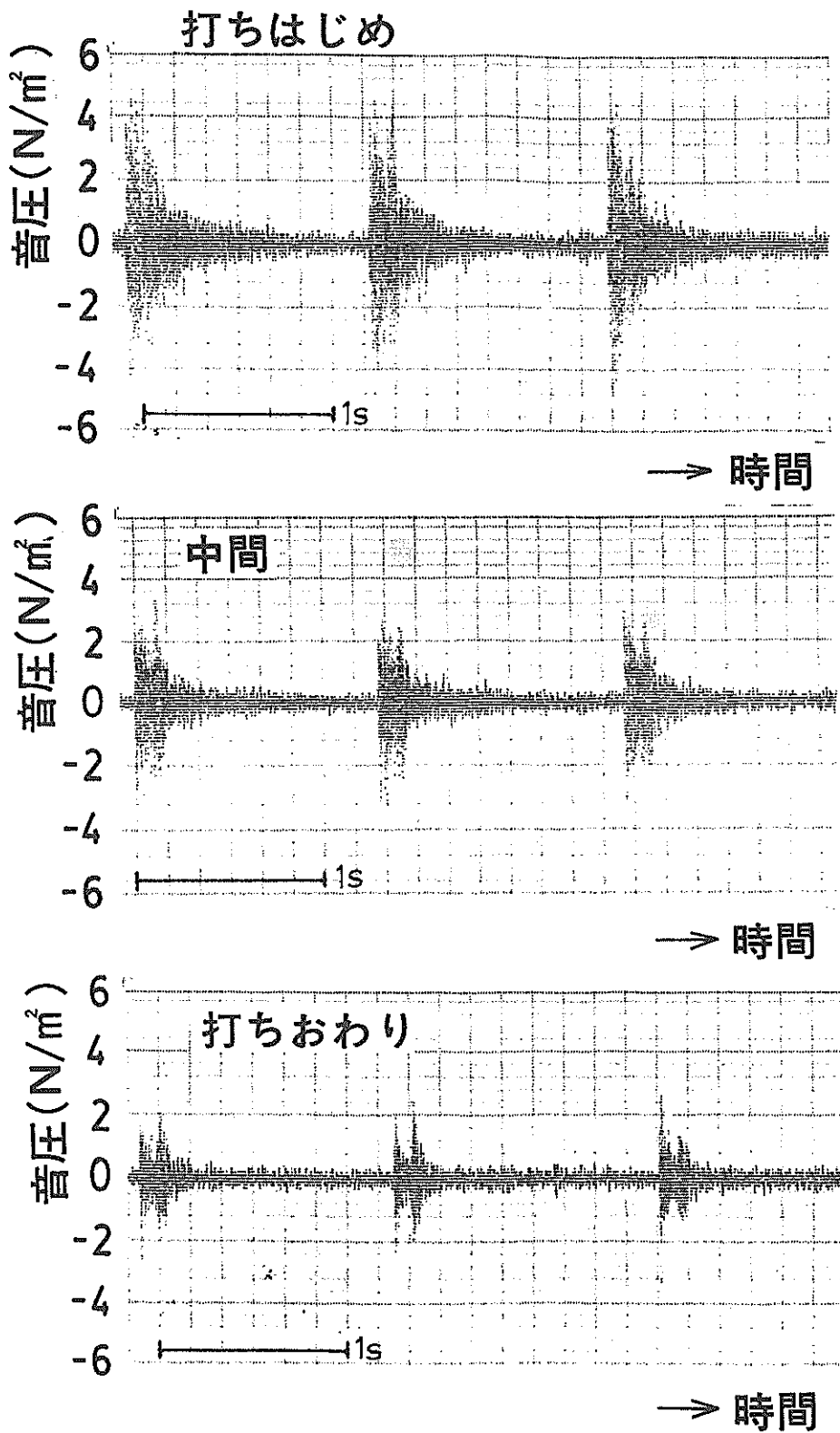


図-11 杭の貫入深さによる杭打騒音波形の変化(70m点)

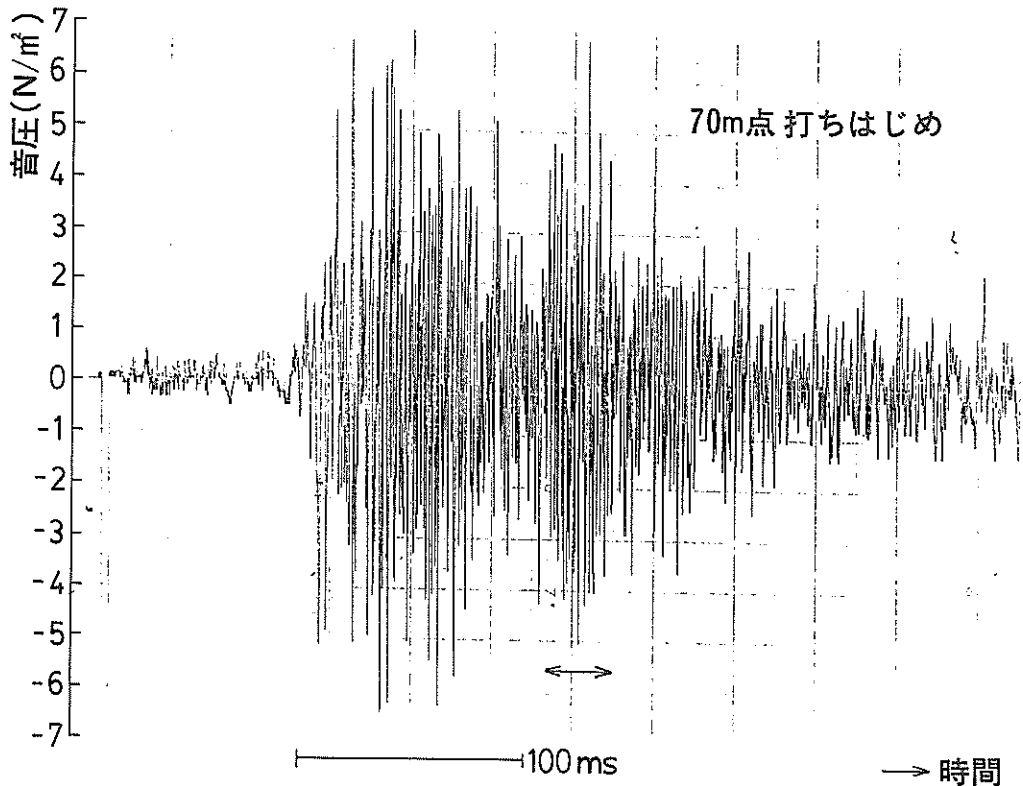


図-12 杭打騒音の波形

が重なったものであると考えることができる。

つぎに、70m点における周波数特性を、杭の貫入深さ別に図-13に示す。これらは杭打騒音を1/3オクターブごとにフィルターを切換えながら高速グラフィックレコーダで記録したもので、立ち上がり時定数と立ちさがり時定数は0.01sである。この周波数分析には約150sかかり、各周波数帯により測定対象の杭打騒音は異なっている。

図-14に図-13の周波数分析に用いた杭打騒音のうち、打ちはじめの場合の音圧レベルをフィルターを通過せずに記録したものを示す。図-14によると、各杭打騒音の音圧レベルの最大指示値の差は最大3dB程度である。他の場合も同程度の差であった。よって、図-13は全体として見れば、ほぼ正しい周波数特性を表わしていると言える。

図-13によると、打ちはじめでは400~500Hz付近にピークがあるが、中間から打ちおわりになるにしたがって、逆にその付近が減少する。これを波形分析結果および杭打機の作動状態とあわせて考えると、杭打騒音は400~500Hzにピークを持つ打撃音と、それより高い

周波数成分を持つ排気音からなり、打撃音の大きさは杭の貫入深さが大きくなるにしたがって減少するが、排気音の大きさは打撃音ほどは減少しないと考えられる。

これは、杭の貫入深さが大きくなると、支持力の増加のため杭は動きにくくなるので系全体としての反発係数が大きくなり、ラムと杭の上部が接触する時間が短くなる。そのため、仕事量が小さくなるので打撃音が小さくなると考えられる。また、杭の貫入深さが大きいと時間減衰しやすいことも打撃音が小さくなる理由である。

ところが排気音は杭の支持力には直接関係せず燃料の量に依存すると考えられるので変化は小さい。

つぎに、時定数による騒音レベルの測定値の変化を調べるため、70m点の打込みの中間における杭打騒音を各種の時定数を用いて記録したものが図-15である。これによると、時定数0.01sの測定値に対して、時定数0.035s (impulse)の測定値は約2dB、時定数0.125s (fast)の測定値は約4dB、時定数1s (slow)の測定値は約9dB小さくなっている。他の測定番号のものも、おおむね同程度の差であった。

よって、今回の測定対象と同様な特性を持つ杭打騒音

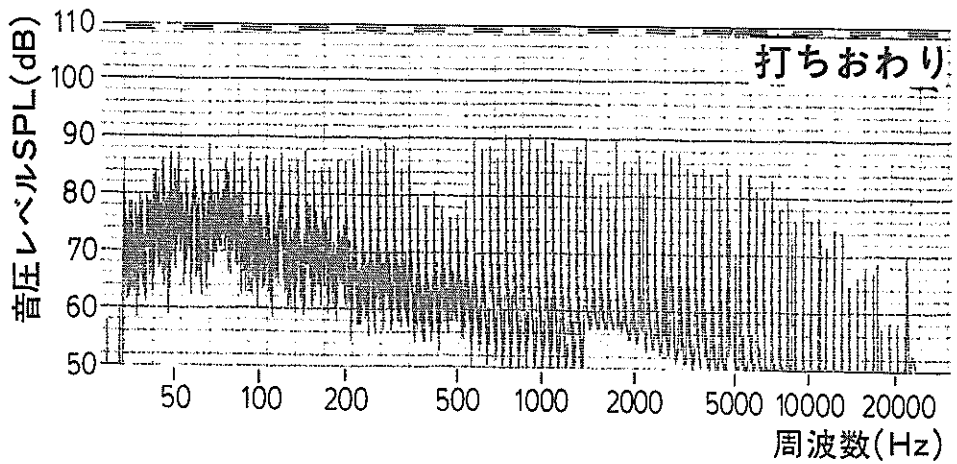
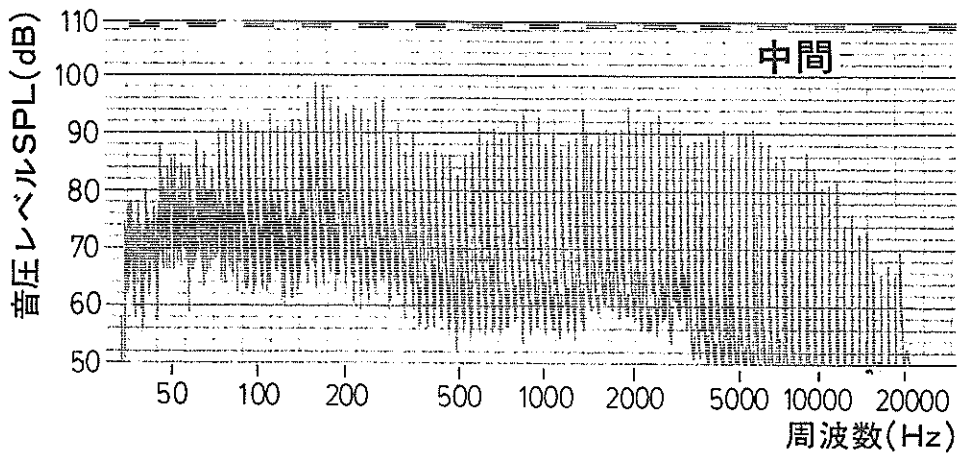
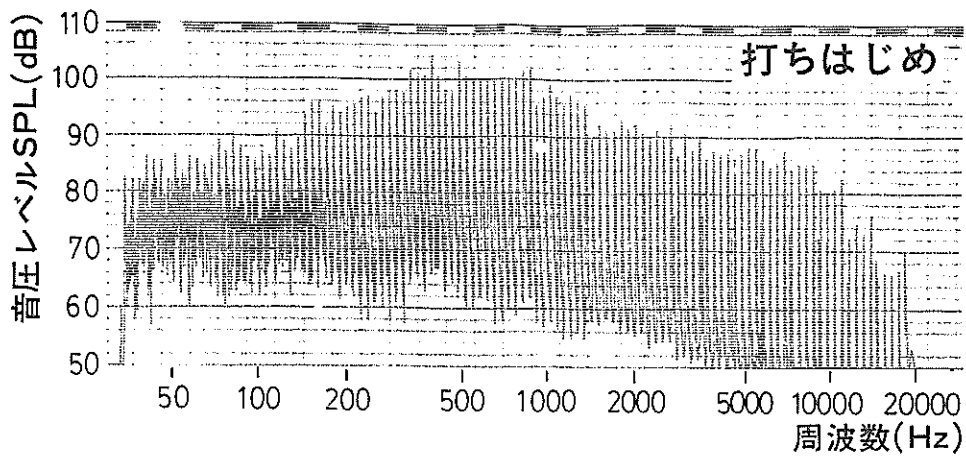


図-13 杭打騒音の周波数特性(70m点)

の騒音レベルは、fastポジションの読みに+2 dBを補正することによって impulse ポジションでの読みを推定することができる。

5. 振動測定結果

5.1 暗振動

振動測定時に測定場所における対象の振動以外の振動を対象の振動に対して暗振動といい、騒音の場合と同様に補正を行うことができる。

杭打船の杭打ち休止時に杭打機から71.3 m離れた点で測定した暗振動の周波数特性を図-16に示す。これは、

フィルターを通した暗振動のレベルを高速グラフィックレコーダで公常用振動計の時定数0.6 sを用いて記録したものである。周波数帯により時間が異なるが、図-16の下側の図に示した、フィルターを通さない振動加速度レベルと時間的に対応しているので補正可能である。

また、10 Hz以下ではフィルターの切換えによる影響が出ている。これらを考慮すれば暗振動の周波数特性はほぼフラットであると言える。

そして、図-16の下側の図からわかるように暗振動の振動加速度レベルはほとんどの場合約45 dBで、ときどき約57 dBまであがる程度である。

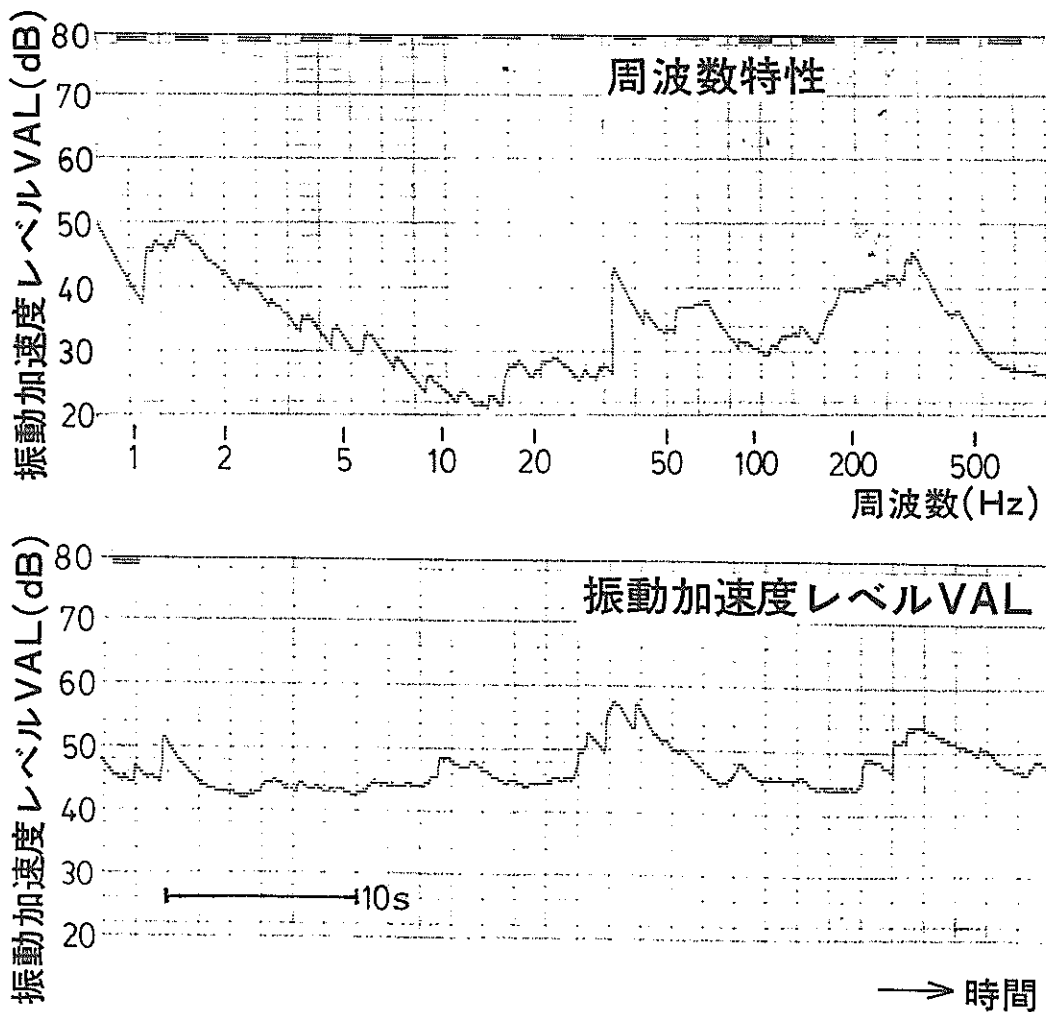


図-16 暗振動の周波数特性と振動加速度レベル

5.2 距離減衰

図-17に杭打機から6.5mと71.3mの点で測定した杭打振動の振動加速度レベルを示す。図-17の下側の図はレベル差である。

この図によると振動加速度レベルは6.5m点で約92

dB, 71.3m点で約66 dBであり、その差は約26 dBである。

また、同様にして測定した振動加速度レベルは、72.9m点で約65 dB, 38.9m点で約70 dBであり、その差は約5 dBであった。

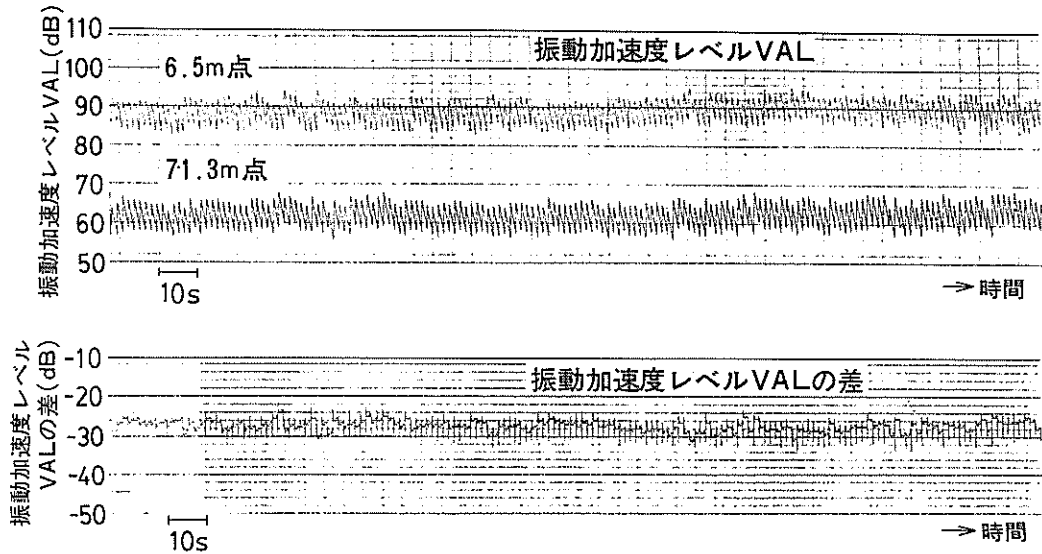


図-17 杭打振動の振動加速度レベル

以上の結果を図示すると図-18の丸印のようになる。黒丸と白丸とでは測定対象となる杭が異なっている。図-18によれば、測定結果は、実線で示した距離の二乗に反比例する減衰特性とほぼ一致していることがわかる。よって、杭打振動は点音源と同様の距離減衰特性を持っていると言える。

5.3 時間特性と周波数特性

6.5m点と71.3m点で測定した杭打振動の波形を図-19, 図-20に示す。これらを見ると距離によって波形は異なっているが、打ちはじめと打ちおわりによる差はない。

この測定例は、図-4で測定番号4の地点のものであり、地盤が軟かいためか杭打ちに要した時間は約6minであった。このため、杭の打ちおわりになっても杭の支持力は打ちはじめとあまり変わらず、振動の特性に変化がなかったものと考えられる。

杭打振動の繰返し周期はいずれも約1.4sで騒音の測定例と同様である。また、6.5m点の方が71.3m点より

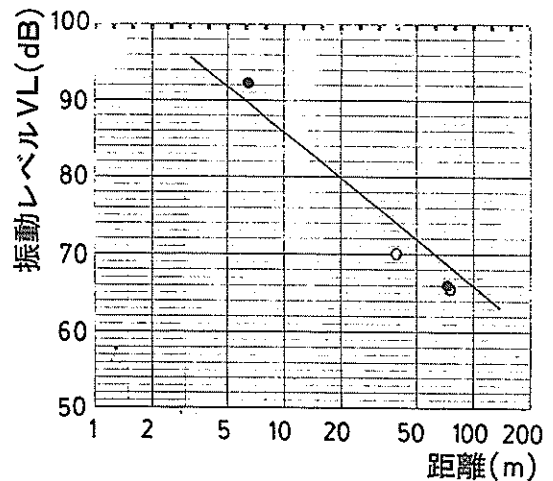


図-18 杭打振動の距離減衰特性

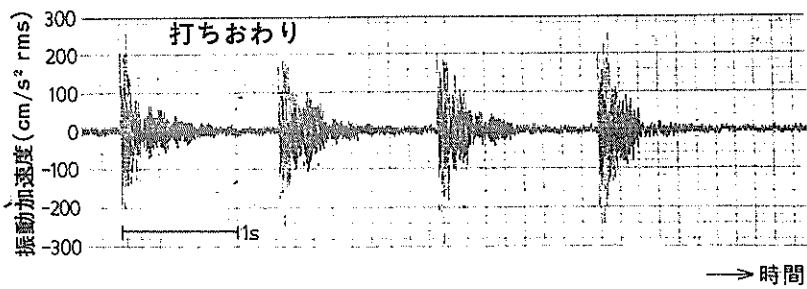
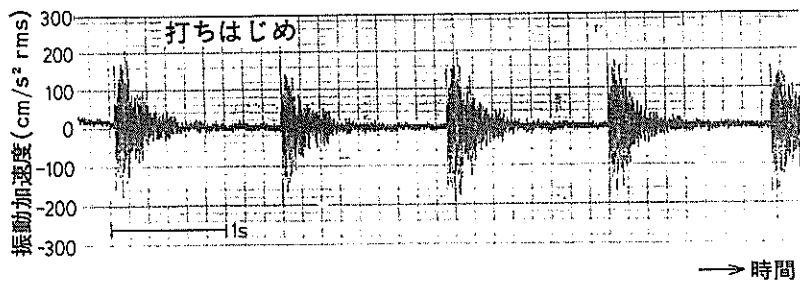


図-19 杭打振動の波形 (6.5 m 点)

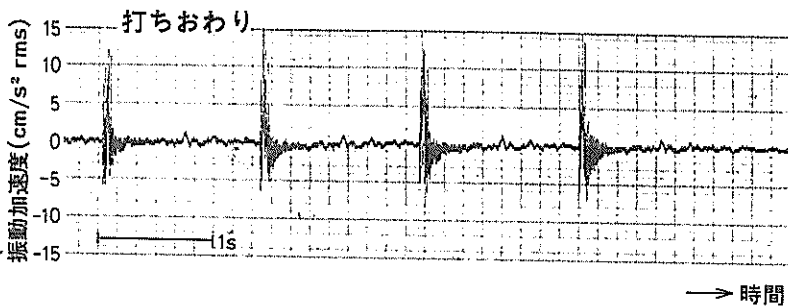
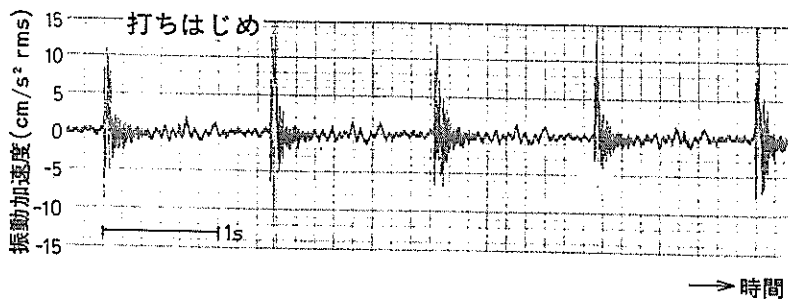


図-20 杭打振動の波形 (71.3 m 点)

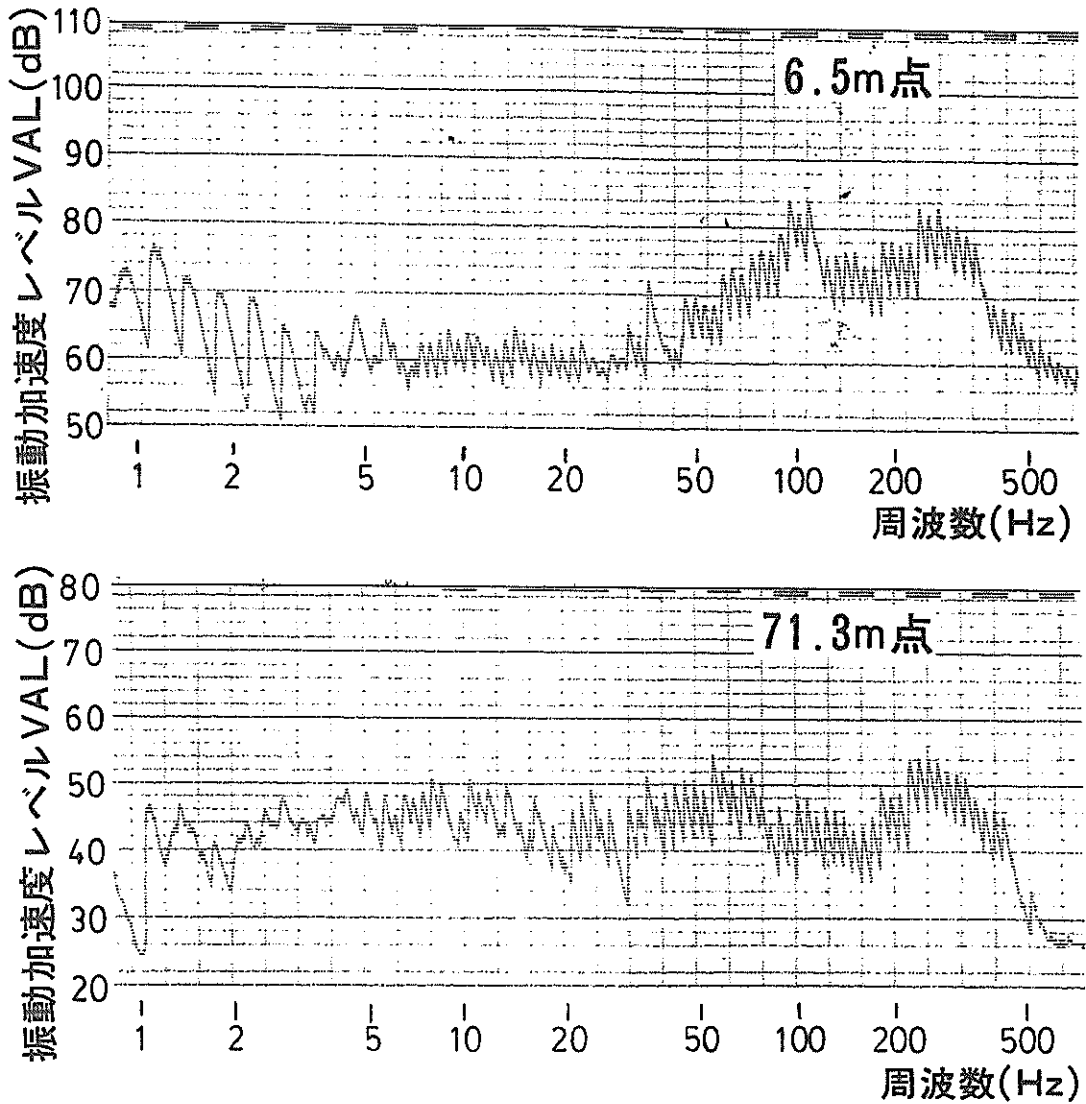


図-21 杭打振動の周波数特性

振動が時間減衰しにくい。

周波数特性を図-21に示す。これによると、6.5m点では周波数の高い成分が大きい、71.3m点ではほぼフラットである。これは、高い周波数の振動ほど距離減衰しやすい²⁾ためであろう。

6. 結 論

以上の調査結果をまとめるとつぎのようになる。

1) 杭打船の音響出力レベルPWL(A)は139~142dBで方向性はない。

2) 杭打船から70m以上離れば、杭打船の騒音は点音源とみなすことができる。

3) 杭打騒音は杭の貫入深さが大きくなるにつれて小さくなる。

4) 杭打騒音は400~500Hzにピークを持つ打撃音と、より高い周波数を持つ排気音からなり、その割合と出現時間は杭の貫入深さにより変化する。

5) 本杭打船の杭打騒音は impulse ポジションでの測定値が fast ポジションでの測定値よりも約2dB大きい。

6) 杭打振動の大きさは、杭打機から6.5mの点で約92

dB, 39 mの点で約70 dB, 71 mの点で約66 dBであった。

7) 杭打振動は点音源の場合と同様に距離の二乗に反比例する減衰特性を持っている。

7. あとがき

今回の調査では防音防振対策の実験は行わなかったが、防音対策としてはハンマーと杭の間にクッション材を入れる方法や杭打機の外周を防音カバーでおおう方法がある。

クッション材を用いる方法には、クッション材の損耗や打込み能力の低下などの問題がある。これに対して、防音カバーを用いる方法は、杭打機自体には直接影響がないので都合である。

陸上土木機械の場合には、人家の近くで作業を行うことがあるため、防音対策を施す例が見られる。たとえば、鋼管杭協会が開発されたJASPP型防音カバーを用いた例では、約23 dB(A)の騒音低下が得られた報告がある⁶⁾。

これは、杭打機全体を完全に防音カバーでおおうものである。

また、ハンマー部分だけの防音カバーの例もあり、効果が期待できるとのことである⁷⁾。

杭打船の場合にも、陸地に近い水域で作業を行う場合には、このような対策を施す必要が生じることもあると思われるので、防音対策の効果の調査を行うことも必要であろう。

振動に関しては、杭打機は打撃力を利用して杭の打込みを行っているため、工法の変更以外に効果的な防振対策は考えにくいと思われる。

なお、今回の調査は、東京都港湾局、運輸省港湾局機材課、第二港湾建設局機械課、および、京浜港工事事務所の多大なる協力を得て行われたものである。あらためて関係者各位に深く感謝いたします。

付録 衝撃騒音計について

1. 衝撃騒音計の定義

IEC規格⁴⁾によると衝撃騒音計についてつぎのように定義されている。

(1) 衝撃騒音計とは1 msより長く、1 sより短い継続時間を持った単一衝撃音、または、短継続時間音とする。

(2) 衝撃音が繰返している場合、衝撃音と衝撃音の間隔は10 msから1 sとする。

(3) 衝撃騒音の音圧レベル L_{PI} と騒音レベル L_{AI} はつぎの式で定義される。

$$L_{PI} = 20 \log_{10} \frac{P_I}{P_0} \text{ (dB)} \quad (1)$$

$$L_{AI} = 20 \log_{10} \frac{P_{AI}}{P_0} \text{ (dB)} \quad (2)$$

ここで、

P_I : 衝撃騒音計で測定したフラットな特性における音圧

P_{AI} : 衝撃騒音計で測定したA特性における音圧

P_0 : 基準音圧 $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$

2. 衝撃騒音計の特性

衝撃騒音計は impulse ポジションで31.5~12,500 Hzの範囲の正弦波に対して slow ポジションの読みと0.1 dB以上の差があってはならない。31.5~315 Hzの範囲では、0.7 dB以上の差があってはならない。

また、衝撃騒音計は整流器のあとのRC結合の時定数 τ が35 msでなければならない。このため、連続音の場合の読みに対する、継続時間 t_i の単一衝撃音の読みの差 ΔL_1 、および、周期 T で繰返す継続時間 t_i の衝撃音の読みの差 ΔL_2 は付表-1, 2のようになる。

付表-1 単一衝撃音の読みの差

継続時間 t_i (ms)	読みの差 ΔL_1 (dB)	許容誤差 (dB)
連続	0	0
50	-1.2	±1
20	-3.6	±1.5
10	-6.0	±2
5	-8.8	±2
2	-12.6	±2

付表-2 繰返し衝撃音の読みの差

繰返し周波数 f_p (Hz)	読みの差 ΔL_2 (dB)	許容誤差 (dB)
連続	0	
100	-2.7	+1, -0.5
50	-5.1	+1.5, -1
20	-7.6	±2
10	-8.5	±2
5	-8.7	±2
2	-8.8	±2

ただし、 $f_p = \frac{1}{T}$, $t_i = 5 \text{ ms}$ とする。

ただし、付表-2で $t_i = 5 \text{ ms}$ である。これらの値は次式で計算される。

$$\Delta L_1 = 10 \log \left(1 - e^{-\frac{t_i}{\tau}} \right) \quad (3)$$

$$\Delta L_2 = 10 \log \frac{1 - e^{-\frac{t_i}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{T}{\tau}}} \quad (4)$$

これらの式はつぎのように導かれる⁸⁾

RC結合は一次遅れ要素であるので、その伝達関数 $F(s)$ はゲイン定数を R とすると、

$$F(s) = \frac{R}{1 + \tau s} \quad (5)$$

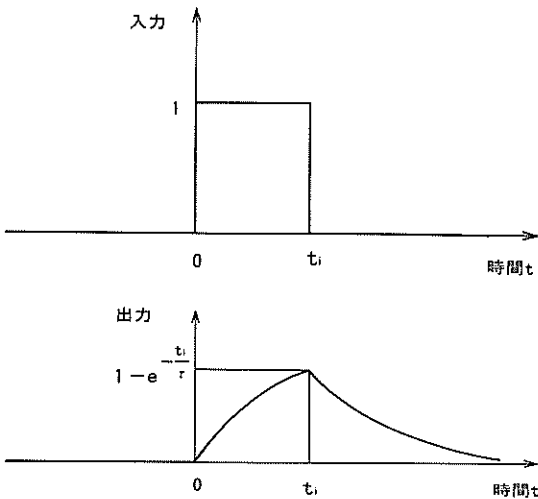
である。よって、単位ステップ入力に対する一次遅れ要素の出力 $f(t)$ は

$$\begin{aligned} f(t) &= \mathcal{L}^{-1} \left(\frac{1}{s} \cdot \frac{R}{1 + \tau s} \right) \\ &= R \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

となる。

付図-1に示すように、大きさ1、継続時間 t_i の単一パルスに対する出力 $f(t)$ の最大値は $t = t_i$ のとき生じ、その値は(6)式より

$$f(t_i) = R \left(1 - e^{-\frac{t_i}{\tau}} \right) \quad (7)$$



付図-1 単一衝撃音模式図

である。また、大きさ1の連続音に対する応答 $g(t)$ の最大値は(7)式で $t_i \rightarrow \infty$ とおいて、 $g(\infty) = R$ となる。ゆえに、dB表示の差 ΔL_1 は

$$\begin{aligned} \Delta L_1 &= 10 \log \frac{t(t_i)}{g(\infty)} \\ &= 10 \log \left(1 - e^{-\frac{t_i}{\tau}} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

となる。

つぎに、付図-2のように、継続時間 t_i の衝撃音が周期 T で繰返す場合を考える。付図-2に示すように衝撃音に番号をつけると、1番目の衝撃音に対する時刻 t における出力 $h_1(t)$ はつぎのようになる。

$$\begin{aligned} h_1(t) &= R \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) - R \left(1 - e^{-\frac{t-t_i}{\tau}} \right) \\ &= R e^{-\frac{t-t_i}{\tau}} \left(1 - e^{-\frac{t_i}{\tau}} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

同様にして、

$$\begin{aligned} h_2(t) &= R \left(1 - e^{-\frac{t-T}{\tau}} \right) - R \left(1 - e^{-\frac{t-(T+t_i)}{\tau}} \right) \\ &= R e^{-\frac{t-(T+t_i)}{\tau}} \left(1 - e^{-\frac{t_i}{\tau}} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \dots \dots \dots \\ h_{n+1}(t) &= R \left(1 - e^{-\frac{t-nT}{\tau}} \right) - R \left(1 - e^{-\frac{t-(nT+t_i)}{\tau}} \right) \\ &= R e^{-\frac{t-(nT+t_i)}{\tau}} \left(1 - e^{-\frac{t_i}{\tau}} \right) \end{aligned} \quad (11)$$

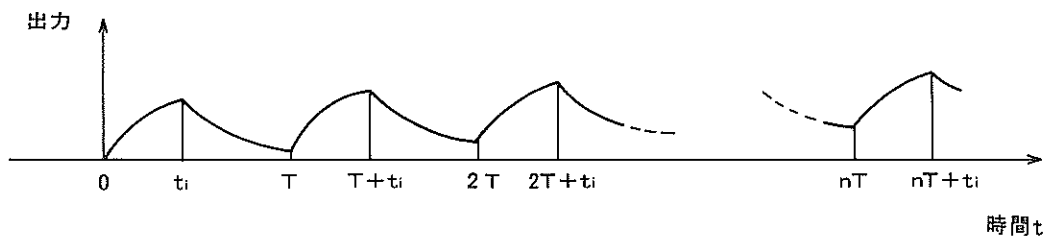
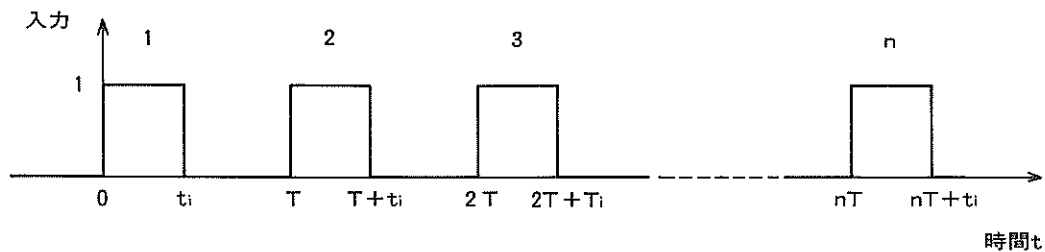
であるから、 $(n+1)$ 個の衝撃音に対する出力 $h(t)$ は、

$$\begin{aligned} h(t) &= h_1(t) + h_2(t) + \dots + h_{n+1}(t) \\ &= R \left(1 - e^{-\frac{t_i}{\tau}} \right) \left(e^{-\frac{t-t_i}{\tau}} + e^{-\frac{t-(T+t_i)}{\tau}} + \dots \right. \\ &\quad \left. \dots + e^{-\frac{t-(nT+t_i)}{\tau}} \right) \end{aligned} \quad (12)$$

となる。付図-2からわかるように、 $h(t)$ は $t = nT + t_i$ のとき最大となり、その値は、

$$\begin{aligned} h(nT + t_i) &= R \left(1 - e^{-\frac{t_i}{\tau}} \right) \\ &\quad \left(e^{-\frac{nT}{\tau}} + e^{-\frac{(n-1)T}{\tau}} + \dots + 1 \right) \end{aligned} \quad (13)$$

で与えられる。



付図-2 繰返し衝撃音模式図

$$\frac{1}{1-X} = 1 + X + X^2 + X^3 + \dots \quad (4)$$

の関係を用いると、 $h(nT+t_i)$ の最大値 h_{max} は式(3)で $n+1 \rightarrow \infty$ として、

$$h_{max} = \frac{R(1 - e^{-\frac{t_i}{\tau}})}{1 - e^{-\frac{T}{\tau}}} \quad (5)$$

となる。よって、dB表示の差 ΔL_2 は、

$$\begin{aligned} \Delta L_2 &= 10 \log \frac{h_{max}}{g(\infty)} \\ &= 10 \log \frac{1 - e^{-\frac{t_i}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{T}{\tau}}} \quad (6) \end{aligned}$$

で表わされる。

参考文献

- 1) 北村恒二：騒音と振動のシステム計測，コロナ社，1975，352p.
- 2) 環境計量測定技術研究会編：環境計量士のための濃度・騒音・振動測定技術，山海堂，1975，pp. 161～252
- 3) 公害振動の測定，リオンテクニカルノート，No. 373，

1974，36p.

- 4) First Supplement to Publication 179, IEC. Pub. 179A, 1973, 21p.
- 5) 岩崎峯夫他：ポンプ船の騒音調査，港湾技研資料，No.323，1979年9月，21p.
- 6) 日本道路公団市川工事事務所：東関東自動車道におけるJASPP型防音カバー試験くい打工事，鋼管杭協会機関誌「明日を築く」，No.24，1978年1月，pp.6～9
- 7) 藤田圭一：くい打ち技術ノート，日刊工業新聞社，1975，pp.175～193
- 8) 増淵正美：自動制御基礎理論，コロナ社，1964，pp.15～50

港湾技研資料 No.353

1980・9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横浜市中区長瀬3丁目1番1号

印刷所 株式会社 東京プリント