

## 建設作業振動の実態調査結果（その2）

門屋真希子 末岡伸一\*

(\*現・末岡技術士事務所)

### 要 旨

環境省が毎年発行する振動規制法施行状況調査結果によれば、近年建設作業から発生する振動に対する苦情が増加している。またその寄せられた苦情は規制基準値を下回るケースがほとんどであることから、住民の振動感覚と規制との間に乖離が見られる。このため本調査は、昨年度に引き続き、建設作業により発生した振動の実態を調査し現行法の規制方法と比較しながら解析を行ったものである。

本調査では、杭打ち、杭抜き作業に係る建設作業 6 件について、敷地境界や住宅前面等において振動加速度を調査した。杭打ち、杭抜き作業においては、敷地境界で常時 60dB を超えてはいないものの、10dB 以上大きな振動が間欠的に発生していた。また、鉛直方向は水平方向よりも振動加速度レベルは大きく、住宅内においても鉛直方向が水平方向より大きい傾向が見られた。敷地境界からの距離に応じて、3 軸方向とも振動加速度レベルは減少する傾向が見られた。作業内容により住居内の振動加速度レベルの増幅は全く異なっていた。

また、敷地境界の振動波形について周波数分析を行ったところ、地盤固さとは関係なく、ほぼ同じ周波数特性が見られ、振動発生源からの影響を強く受けていると思われる

キーワード：環境振動、建設作業、FFT、周波数、等価振動加速度レベル

## A investigation of the vibration by constructions

Makiko Kadoya & Shinichi Sueoka

### Summary

We have measured the 3-axis vibration from 6 cases of construction works such as pile driving on the boundary and in front of dwellings, and have examined distance of the 3-axis vibration damping and characteristic frequency.

As houses have been built very closely in Tokyo, therefore pile driving works have been often used the spiral drilling machine to the ground named "Earth auger" that occurred lower vibration than using pile hammer.

As the results of observations in the boundary and in front of dwellings, it was occurred rare vibration acceleration level above 60dB, and 3-axis vibration level decayed from the boundary to dwellings. At a soft ground area such  $N < 1$  we have observed 2.5~4.5Hz characteristic frequency of vibration in the boundary.

## 1 はじめに

昭和 51 年に振動規制法が制定されて以来、住民の生活環境の保全に貢献してきたが、近年建設作業については、寄せられる苦情が年々増加している。また寄せられた苦情の 9 割以上は規制基準を下回っており、規制基準値と住民の振動感覚が対応しているとは言い難い状況である。

現行法では、建設作業現場の敷地境界において、特定の建設作業に対して、垂直方向の振動に対する規制基準が設けられているが、苦情は特定建設作業以外でも申し立てられていること、敷地境界付近より離れた屋内で感じられていることもあり、規制手法の再検討が必要であると考えられる。

一方、国際的な振動に対する評価規格は、近年振動を受ける場所で評価する手法へと変更され、国内においては労働安全衛生分野の振動評価手法についてすでに改正されている。

そこで、本調査では建設作業のうち、比較的大きな振動が発生する杭作業を対象に、発生する振動実態を調査し、現行法の規制手法と比較しながら、敷地境界と住宅玄関前等で観測される振動レベルの関係についてとりまとめた。

なお、都内では隣地住居まで距離がなく苦情も多いことから、ほとんどのケースで比較的大きな振動が発生しない地盤を掘削しながら杭を打設する杭打ち機が使われている。

## 2 調査方法

### (1) 調査対象

都内で実施された建設作業のうち、杭打ち及び杭抜き作業について、中でも自動車、鉄道や工場等からの振動の影響を受けない 6 件(うち振動 3 と 6 は同一地域)を調査対象とした。調査対象の使用建設機器とその台数は表 1 に示した。

### (2) 調査項目、調査方法

調査は、杭打ち及び杭抜き作業が行われている時間に、作業内容及び作業に用いられている建設機器を確認し、敷地境界、住宅前面及び住居内(木造もしくは軽量鉄骨の戸建て住居の 1 階、板の間)において、xyz 方向別(x は振動発生源方向、y は x に直交する方向、z は垂直方向)に、平坦で振動加速度を収録した。収録には、振動計(リオン製 VM-53A 及び VM-54)を用いて 10 分間、データレコーダー(リオン製 DA-20)に wave ファイル収録し、収録したファイルをデータレコーダー専用解析ソフト(DA-20PA1)により、周波数補正なしの条件で振動加速度レベル(L<sub>veq</sub>、L<sub>vmax</sub>、L<sub>v5</sub>、L<sub>v10</sub>、L<sub>v50</sub>、L<sub>v90</sub>、L<sub>v95</sub>、L<sub>vmin</sub>)を読み取り、同時に周波数解析を行った。なお、ここで L<sub>veq</sub> とは、

等価振動レベルのことであるが、周波数の感覚補正について種々の提案がされている現状から鑑みて、周波数補正を行わないで求めた。

また、東京都建設局土木技術センターが公開する地盤情報システムから調査場所の N 値等の地盤情報を得た。

表 1 調査対象一覧

番号	作業内容	使用建設機械及び台数
建設1	杭打ち	アースオーガ1、クローリークレーン1、バックホウ1
建設2	山留め	アースオーガ1、クレーン1、バックホウ1
建設3	杭抜き	アースオーガ1、クレーン1、バックホウ2
建設4	杭打ち	アースオーガ2、クレーン3、バックホウ4?
建設5	杭打ち	アースオーガ(2軸)1、クローリークレーン1、バックホウ1
建設6	杭打ち	アースオーガ2、クレーン3、バックホウ2

表 2 調査対象地域の地盤状況

	N値	地質
建設1	>50	砂礫
建設2	>50	砂礫
建設3	<1	粘土
建設4	0~7	粘土~砂
建設5	0~7	砂礫~砂
建設6	<1	粘土

\*N 値や地質は、地表から 20m までの範囲とした。

## 3 測定結果

### (1) 評価量の選定

測定は振動加速度レベルについて、周波数補正特性なしに 9 つの評価量で読み取り、そのうち敷地境界の L<sub>veq</sub> に対する L<sub>vmax</sub> 及び L<sub>v10</sub>(現行法の規制基準値)の関係を整理して図 1 に示した。

ここで振動加速度レベルとは、基準加速度で基準化したもので国際的には下記の式が使われている

振動加速度レベル

$$=20 * \text{Log}_{10} (\text{振動加速度} / \text{基準振動加速度} (10^{-5}))$$

図中に L<sub>v10</sub> と L<sub>veq</sub> の回帰式と決定係数 R<sup>2</sup> を示したが、両者は高い相関を示していた。一方 L<sub>vmax</sub> と L<sub>veq</sub> は一定の相関は見られるが L<sub>v10</sub> よりもばらつきが大きくなった。

現行法では特定建設作業のみの振動に対して L<sub>v10</sub> で規制しているが、実際はそれ以外の作業を同時に行っており、特定建設作業のみの振動だけを分離して測定・評価することは難しい。また特定建設作業に該当しない作業であっても、振動を発生させている。住民の振動感覚との対応を検討するには、特定建設

作業以外も含めた調査対象施設から発生する振動を総合的に評価する必要があると考え、本調査では以降  $L_{veq}$  を評価手法に用いて、解析を行うこととした。

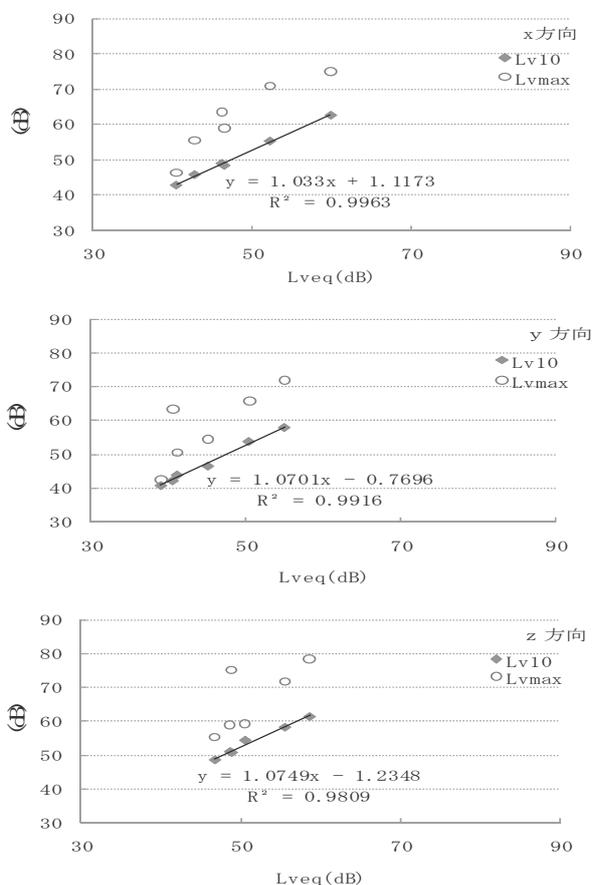


図1  $L_{veq}$  と  $L_{vmax}$ 、 $L_{v10}$  の関係

## (2) 敷地境界

杭打ち、杭抜き作業においては、敷地境界で常時揺れを感じる事はないものの、それまでの振動加速度レベルより 10dB 以上大きな振動が時より発生していた。測定する時間の長さによっては、間欠的な振動を捉えられない可能性があり、今後計測時間についても検討していきたい。

敷地境界における xyz 方向別の振動加速度レベルについて、水平方向 x-y、垂直方向と水平方向 z-x と z-y のレベル差を図2にまとめた。まず、水平方向の x-y の関係をみると、x 方向は y 方向より大きくなる場合と小さくなる場合とがあり、次に z-x を見ると x 方向は z 方向より 3dB 以上高くなる場合と 3dB 以内の範囲で低くなる場合に分かれたが、z-y を見ると y 方向は z 方向の振動レベルより明らかに低い傾向を示した。これらの結果から敷地境界では  $z > x > y$  方向の順に振動加速度レベルが高くなる傾向が見られたが、昨年度解体作業を中心とした調査結果も同様の傾向を示していた。

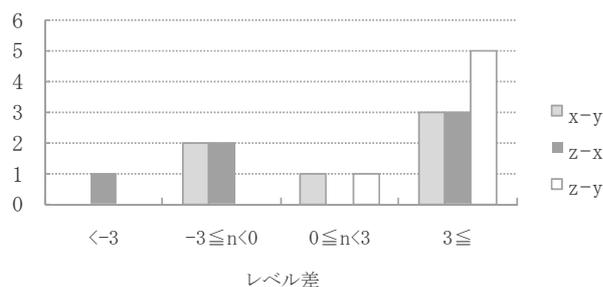


図2 水平垂直方向の振動レベル比較(敷地境界)

## (3) 住宅前面

振動規制を行う上では、実際に振動を受振する住宅内での測定が有効である。しかしながら、現実の規制等においては、常に住宅内で測定することは不可能であり、最も住宅に近い住宅前面が重要な意味を持つと考えられる。

この住宅前面における xyz 方向別の振動加速度レベルについて、敷地境界と同様に水平方向 x-y、垂直方向と水平方向 z-x と z-y のレベル差について図3にまとめた。

図3によると、x 方向と y 方向の振動加速度レベル差を見ると、x 方向が y 方向よりレベルが 3dB 以内で高くなる場合と 3dB 以上高くなる場合とに分かれている。また、垂直方向と水平方向の場合について z 方向と x 方向のレベル差を見ると、z 方向は x 方向より 3dB 以上高くなる場合と 3dB 以内範囲で低くなるが見られるが、z 方向と y 方向のレベル差を見ると、z 方向が y 方向より高くなる傾向が見られる。これらは住宅前面において、z 方向の振動加速度レベルが水平方向の振動加速度レベルよりも高くなる傾向を示すものである。

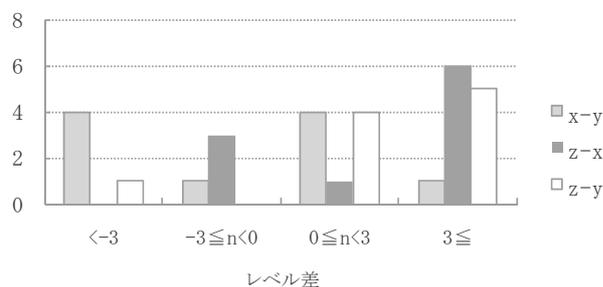


図3 水平垂直方向の振動レベル比較(住宅前面)

次に、敷地境界から住宅前面まで  $L_{veq}$  の減衰状況について、住宅前面と敷地境界における  $L_{veq}$  の差を、敷地境界から住宅前面までの距離で割り、距離 1m あたりの減衰割合としてまとめた。これによると、xyz 方向とも敷地境界に近いほど減衰割合は高く、10m 以上離れると距離減衰の割合は低い傾向が見られる。

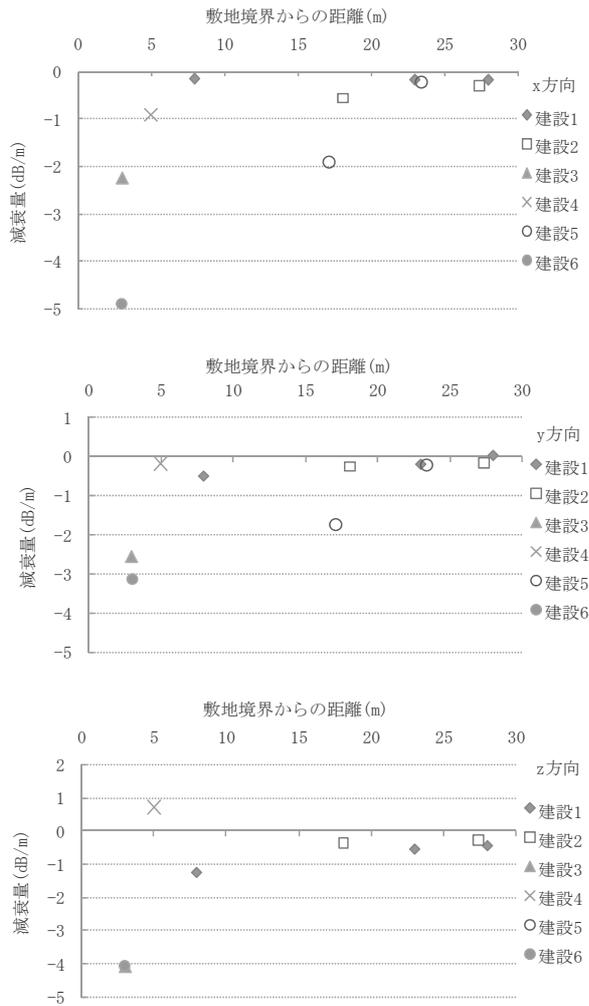


図4 距離減衰割合の分布

(4) 住宅内の振動状況

建設作業内容の違いが与える住宅内振動への影響を見るために、振動3（杭抜き作業）と振動6（杭打ち作業）を対象に同じ住宅内で観測された振動加速度レベル等の比較検討を行った。それぞれ敷地境界と住宅内、敷地境界と住宅前面の振動加速度レベルの差（ $L_{veq}$ 、 $L_{v10}$ と $L_{vmax}$ ）を表3にまとめた。

表3 敷地境界

		敷地境界と住宅前面のレベル差			敷地境界と住宅内レベル差		
		x	y	z	x	y	z
建設3	$L_{veq}$	1.5	0.6	-0.8	-6.7	-7.7	-12.2
	$L_{v10}$	0.8	-0.3	-0.5	-5.7	-6.4	-11.2
	$L_{vmax}$	-2.7	-0.8	-4.1	-2.0	0.7	-2.6
建設6	$L_{veq}$	-14.7	-9.4	-4.0	7.6	11.3	14.9
	$L_{v10}$	-15.1	-11.4	-3.4	6.9	11.3	14.2
	$L_{vmax}$	-21.1	-26.6	-2.0	6.0	1.5	13.5

建設3を見ると、 $L_{veq}$ と $L_{v10}$ 敷地境界の振動加速度レベルと住宅前面のレベル差は小さいが、 $L_{vmax}$ はそれらより大きい。また、敷地境界と住宅内とを比較すると、住宅内の振動加速度レベルは敷地境界よりも低く、その傾向は $L_{veq}$ と $L_{v10}$ とほぼ同じような傾向を示すが、 $L_{vmax}$ は敷地境界の振動加速度レベルよりやや低下している程度であり、住宅前面とレベル的にはほとんど変わらない。

建設6を見ると、敷地境界と住宅前面の振動加速度レベル差は $L_{veq}$ と $L_{v10}$ はほぼ同じ傾向を示すが、 $L_{vmax}$ はそれらと比較してより振動加速度レベルが低くなっている。また住宅内では、y方向を除き $L_{veq}$ 、 $L_{10}$ と $L_{vmax}$ ともに同様なレベル差を示すが、 $L_{vmax}$ のy方向については $L_{vmax}$ と他の評価量との間に10dB程度の違いが見られる。

さらに、入力される振動と住宅内の振動についてそれぞれ周波数解析を行い、建設3は図5、建設6は図6にまとめた。

建設3では、~5Hzまでの範囲の振動はxyz3方向とも敷地境界で観測される周波数のレベルと変わらないが、それよりも高い周波数は住宅内でかなり小さくなっている。また、周波数が17.5Hz以上の周波数は、3方向とも敷地境界に比べ住宅内ではかなり小さくなっている。

建設6では、全般的にxyz3方向とも~12.5Hzの範囲において、住宅内の振動は敷地境界で観測される周波数のレベルより高く、12.5Hz以上の周波数は低くなる傾向が見られる。

両者を比較すると、どちらも2.5~3.5Hzの範囲で卓越周波数が見られることから、この住宅の固有振動はこの範囲内にあると思われる。また、5~12.5Hzの範囲の振動成分が敷地境界で観測される振動の周波数特性より高いことから、住宅振動に影響していると思われるが、調査件数が少ないため、今後も調査して行きたい。

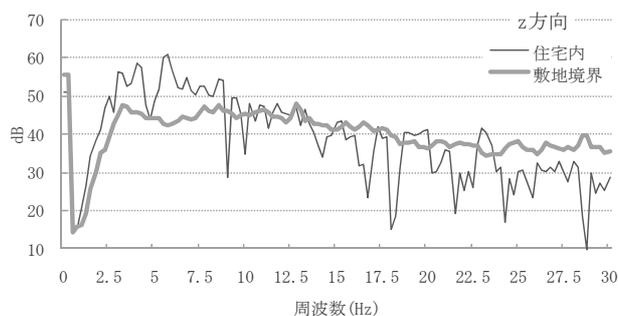
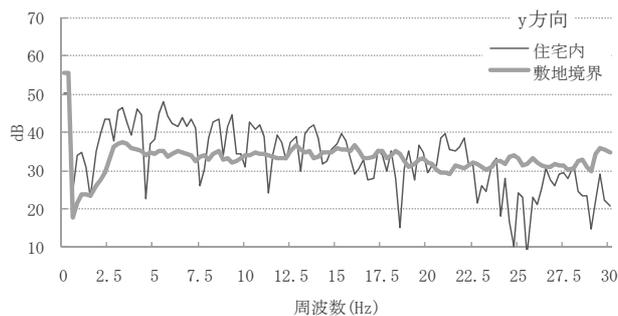
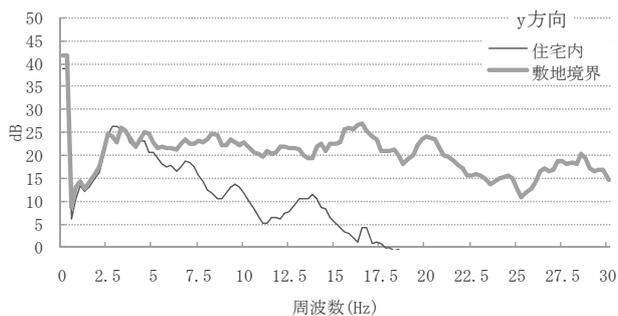
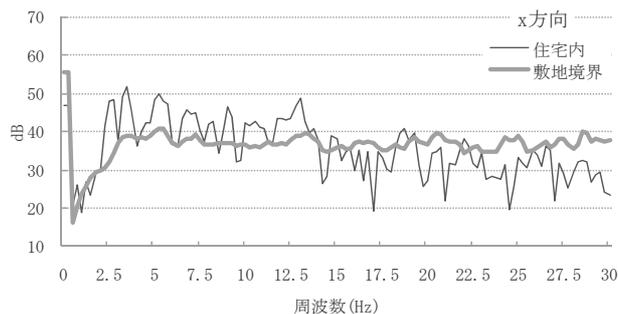
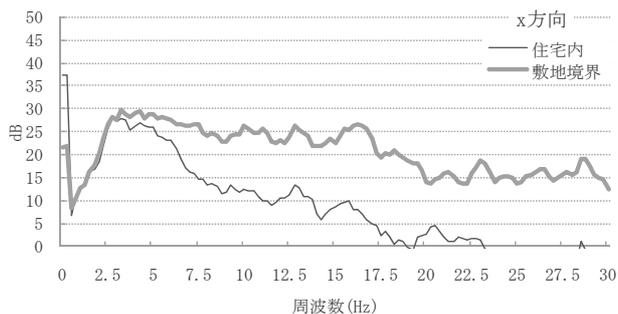


図5 建設3 (杭抜き作業) 周波数分析結果

図6 建設6 (杭打ち作業) に対する周波数分析結果

(5) 掘削時に発生する振動の周波数分析結果

各調査地域の敷地境界において、アースオーガ等による掘削時に発生する振動の周波数分析を行い、横軸を周波数(Hz)、縦軸は振動加速度レベル全体に対する周波数別の振動加速度レベルで割り返した比率として図7に示した。

図7について方向別に見ると、x方向ではN値の低い振動3~6には2.5~3.5Hzの範囲に卓越周波数が見られ、N値の高い振動1~2では4.5~6Hzの範囲に卓越周波数が見られた。

y方向ではN値に関係なく振動2を除いて3.5Hz以下で卓越周波数が見られる。また、N値が異なる振動1と振動5の周波数特性がほぼ同じである。

z方向ではN値の低い振動3~6には3~4.5Hzに卓越周波数が見られ、~5Hzの範囲においてはほぼ同じ周波数特性が見られる。一方N値の高い振動1~2に対しては、それらよりやや高い周波数5Hzと7.5~8.5Hzに卓越周波数が見られるが、8Hzより高い周波数では、N値に関係なくほぼ同じ周波数特性が見られる。

作業別に見ると、N値の同じ地域の建設1と2は、x方向では5~6Hz、z方向では5、8~8.5Hzに卓越周波数を持ち、その他ではその傾向が見られないことから、地盤の影響と思われる。また同じアースオーガの作業であるが、建設2(山留め)はH鋼を打ち込む作業であり、他の作業に比べて規模が小さく、15.5~16.5Hzの範囲で卓越周波数を持っているが、その他の作業と比較しても異なるため、作業の違いによる影響と思われる。

同じ場所で調査した建設3と建設6を比較すると、25Hzまでの振動に対して敷地境界においてxy方向は杭打ち作業の建設6より杭抜き作業の建設3の方がレベルは高いが、どの方向でも~2.5Hzまではほぼ同じレベルを示している。またz方向のみ2.5~6Hzの範囲で建設6の方が高くなっている。

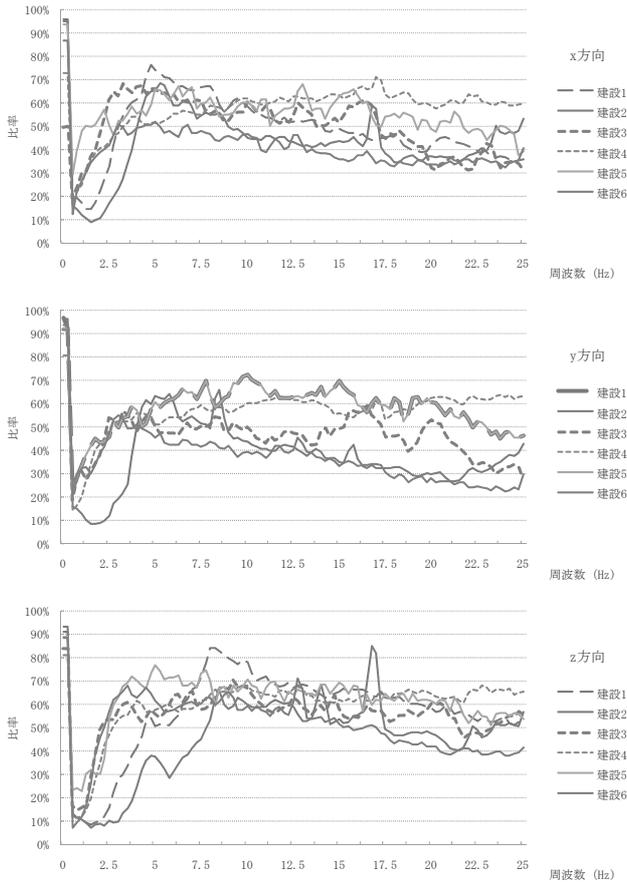


図7 建設作業別振動の周波数特性

#### 4 考察

本調査は、現行の振動規制法の規制手法と比較しながら具体的な規制への適用を前提に検討を行った。このため、振動の評価手法の検討を行う地点については、現行の敷地境界、実際に受振する住宅内及び実務的に可能性のある住宅前面において振動測定及び解析を行った。

##### (1) 振動の伝播状況

敷地境界及び住宅前面における振動加速度レベルは、垂直方向zが水平方向xyに比べて大きくなっていった。

また敷地境界から住宅前面までどの程度減衰するかについては、地盤の影響や工事の種類により発生する振動状況の違いがあると思われるが、敷地境界から急速に減衰する傾向が見られた。

敷地境界、住宅前面と住宅内振動加速度レベルを比較すると、敷地境界よりも住宅前面のレベルは低く、住宅内では杭打ち作業では増幅し、杭抜き作業では減衰する傾向が見られたが、用いる評価量により増幅度合いが異なっていた。L<sub>veq</sub>とL<sub>v10</sub>を比較すると、どの場所においてもほぼ同じ傾向を示したが、L<sub>vmax</sub>はL<sub>veq</sub>とL<sub>v10</sub>に比べて、住宅前面及び住宅内においては、敷地

境界で観測された振動加速度レベルよりも低く評価される傾向が見られた。

昨年度の解体作業を中心とした調査では、L<sub>veq</sub>のみを評価量として比較を行ったが、それによると住宅前面と住居内のレベル差は水平方向xと鉛直方向zは減少するケースと増加するケースとがほぼ同数程度であり、水平方向yは増加するケースが多い結果であった。本調査では、同じ住宅内を対象に、作業の違いが住居内振動にどのように影響するかを調べたものであるが、杭抜き作業と杭打ち作業では、敷地境界や住宅前面と比較して住宅内で増幅度合いが全く異なる結果が得られ、住宅内での増幅度合いは、作業内容に大きく影響されることがわかった。

現行の振動規制法においては、特定建設作業に対して、z方向のみに規制を設けているが、今回の調査結果では、z方向の振動が全体として大きいものの、住民が振動の被害を感じる屋内では、昨年度の調査と同様に水平方向xyの振動の増幅傾向が見られ、水平方向についても対象に含める必要があると思われる。また、評価量については、屋外屋内においても現行法との対応がよく、様々な建設機械が稼働していても総合的に評価できるため、L<sub>i0</sub>からL<sub>veq</sub>に変更することは比較的容易と考えられる。

##### (2) 周波数成分から見る振動

使用されている建設機械がほぼ同じ建設作業に対して、敷地境界における振動の周波数成分を比較検討したところ(図7参照)、地表20m以内の地盤の固さ(N値)により、どの方向も卓越周波数に違いが見られた。N値の低い地域では、2~4Hzの周波数が卓越し、N値の高い地域ではそれよりもやや高めの周波数5~6Hzが卓越する傾向が見られた。この傾向は昨年度の結果と同様であった。

昨年度の調査では、解体作業に対して住宅内振動の周波数成分は、住宅前面における周波数成分と住宅内の振動の周波数成分とは必ずしも一致せず、x方向は4~7Hz、y方向は4~10Hz、z方向は4~12Hzに主成分を持っていた。本調査では、同じ住宅において、異なる作業により住宅内で観測された振動の周波数について分析したところ、どちらの作業でも2.5~3.5Hzの範囲で住宅の固有値と思われる卓越した周波数が見られ、杭打ち作業は杭抜き作業に比べて、人が振動を感じやすい12.5Hzまでの周波数成分を多く持ち、敷地境界よりも増幅度合いが高い結果が得られた。これにより、建設作業の内容により住宅で観測される振動加速度レベルの増幅度合いは変わることで、周波数特性も発生源の影響を強く受けることがわかった。

おわりに、昨年度は建設作業の件数自体は少ないが、解体作業の件数の割合が高く、結果として調査対象のほとんどが解体作業であった。また平成20年度では建設作業件数は前年度より多く、工事内容の多くは杭工事であったため、調査年度により調査対象が異なってしまった。

今後はさらにその他の建設作業に対しても調査を行い、建設作業全般からの振動を把握し、評価方法の見直しの資料としたい。

この研究は、環境省受託研究として実施したものである。

## 5 参考文献

- 1) 門屋真希子、末岡伸一(2008)：「建設作業振動の実態調査結果」  
東京都環境科学研究所年報