

建設作業振動の実態調査結果

門屋真希子 末岡 伸一

要 旨

昭和 51 年に制定された振動規制法により、振動にかかる生活環境保全対策は進められてきたが、近年建設作業振動の苦情が増加している。そこで、現行の振動評価手法については、見直しが必要との意見が多く、今後の評価手法のあり方について基礎的検討を開始した。本調査は、建設作業現場計 21 件から発生している振動の実態を調査・解析したものである。

これによれば、敷地境界や住宅前面においては、鉛直方向が水平方向よりも振動加速度レベルが大きく、住宅内においても鉛直方向が水平方向より大きかった。増幅の度合いを見ると、水平方向は住宅前面よりやや増加する傾向がみられ、鉛直方向は増加するものと増加しないものが半数ずつであった。また、3 軸方向とも距離 1m につき 3dB 以内で減衰するケースが全体の 8 割以上を占めていた。

また、周波数分析を行ったところ、住宅内においては、住宅前面の周波数にかかわらず、5Hz 前後と 12Hz 前後に主たる周波数があり、固有振動数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 the construction

KADOYA Makiko, SUEOKA Shinichi

Summary

By the vibration-control law in Japan that was established in 1976 have contributed to environmental protection, but in recent years for construction work vibration complaints are increasing. There are many opinions that need to estimate vibration another assessments, therefore we have started investigation about a proper way of hereafter vibration assessment. We have studied the vibration from 21 cases of construction works. In this study, on the boundary and in front of dwellings vertical vibration acceleration level were higher than horizontal axis, and in the dwellings same so. In dwellings horizontal vibration acceleration level increased the level in front of dwelling, but vertical vibration acceleration level was in some case increased. There was 80% data of all that the horizontal and vertical vibration acceleration data decreased rate of degree 3dB per 1m distance between from boundary to front of dwellings. We have examined frequency of vibration

using FFT analyzer. It was observed the mainly frequency at 5Hz and 12Hz in dwellings without relation in front of dwelling frequency. It seems that receive the influence of the natural frequency.

1 はじめに

振動規制法が制定されておよそ30年が経過するものの、評価手法、規制手法については法が制定されてから全般的な見直しは行われていない。近年、建設作業に係る規制基準を下回る場合でも、住民からの苦情が増加していること、規制対象外の作業に対する苦情が増加していることや国際的な振動に対する評価規格の変更もあり、振動評価手法の見直しを行うべきという意見もある。そこで、建設作業の振動実態を把握し、振動評価手法のあり方の基礎資料を得る目的で調査を実施した。

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、自動車、鉄道や工場等からの振動の影響を受けない21件を対象とし、調査対象の作業内容、使用建設機器及び測定位置について表1に示した。

(2) 調査項目、調査方法

調査は、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は振動の方向、yはxに直交する方向）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_{veq}、L_{vmax}、L_{v5}、L_{v10}、L_{v50}、L_{v90}、L_{v95}、L_{vmin}）を読み取り、同時に周波数解析を行った。なお、ここでL_{veq}とは、等価振動レベルのことであるが、感覚補正が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	作業対象の規模	建設機械	測定位置
建1	建屋解体 破砕ガラの処理	集合住宅8棟 RC構造、地上3階、地下1階	クラッシャー1 バックホウ2	敷地境界
建2	建屋解体 破砕ガラの積み出し	表及び共同ビルの5棟 (RC構造、5~8階建て)	クラッシャー1 バックホウ1	敷地境界
建3	建屋解体 破砕ガラの積み出し	RC構造の4階建1棟と3階建1棟、他木造1棟	クラッシャー1 バックホウ1	敷地境界 住宅敷地、住居内
建4	建屋解体 破砕ガラの積み出し	RC構造、地上3階、地下1階建1棟	クラッシャー1 バックホウ2	敷地境界 住宅敷地
建5	建屋解体 破砕ガラの積み出し	鉄骨鉄筋コンクリート造 地上3階、地下2階建1棟	ブレーカー1 バックホウ2	敷地境界 住宅敷地、住居内
建6	基礎解体 破砕ガラの移動 破砕ガラの積み出し	旧工場建屋 RC構造、地上3階	ブレーカー1 バックホウ1	敷地境界（住宅敷地） 住居
建7	建屋解体 破砕ガラの積み出し	共同住宅、RC構造 地上4階建3棟、地上5階建1棟	クラッシャー大1 クラッシャー小1 バックホウ2	敷地境界 住宅敷地境界、住宅内
建8	建屋解体 破砕ガラの積み出し	共同住宅、RC構造 地上4階建1棟	クラッシャー1	敷地境界、住宅敷地境界 住居内
建9	建屋解体 破砕ガラの積み出し	共同住宅、RC構造 地上4階建2棟	バックホウ3	敷地境界
建10	建屋解体 破砕ガラの積み出し	共同住宅、RC構造 地上5階建2棟	クラッシャー2 バックホウ3	敷地境界、住宅境界、 住居内
建11	建屋解体 破砕ガラの積み出し	共同住宅、RC構造 地上4階建5棟	クラッシャー2他	敷地境界、住宅敷地境界 住居内
建12	建屋解体 破砕ガラの積み出し	旧高等学校校舎、体育館他 RC構造3階建2棟他	クラッシャー1 大ショベル1 小ショベル+クラッシャー3 放水車1	敷地境界、住宅敷地境界 住居内
建13	建屋解体 破砕ガラの積み出し	旧小学校校舎、体育館他 RC構造4階建て	クラッシャー1 バックホウ2	敷地境界、住宅境界 住居内
建14	建屋解体 破砕ガラの積み出し	福祉施設 RC構造、地上3階建て1棟	クラッシャー1 小クラッシャー1 ドーザー1	敷地境界、住宅敷地境界 住居内
建15	建屋解体 破砕ガラの積み出し	共同住宅、RC構造 地上5階建2棟	クラッシャー2 ドーザー2	敷地境界、住宅敷地境界 住居内
建16	建屋解体 破砕ガラの積み出し	共同住宅、RC構造 地上5階建4棟	バックホウ6	敷地境界、住宅敷地境界 住居内
建17	山留、根切り	共同住宅の建設 杭工法 RC構造地上11階建、地下1階	バックホウ2 クレーン2	敷地境界1 住宅敷地
建18	躯体工事	共同住宅他の建設 RC構造、地上17階建、地下1階	クレーン、グラインダー他	敷地境界、住居内
建19	杭抜き	RC構造、地上7階建て共同ビル	杭抜きクレーン1 (ドリル)	敷地境界、住宅敷地境界 住居内
建20	杭打設	共同住宅、RC構造地上11階建 掘込杭工法	バックホウ1 打設ドリル1	敷地(住宅敷地)境界
建21	杭打設	共同住宅、RC構造地上15階建 場所打ちコンクリート杭	クレーン1 バックホウ1	敷地境界、住居内

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、9つの評価量で読み取った。敷地境界のL_{veq}に対するL_{vmax}及びL_{v10}の関係を整理し図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

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

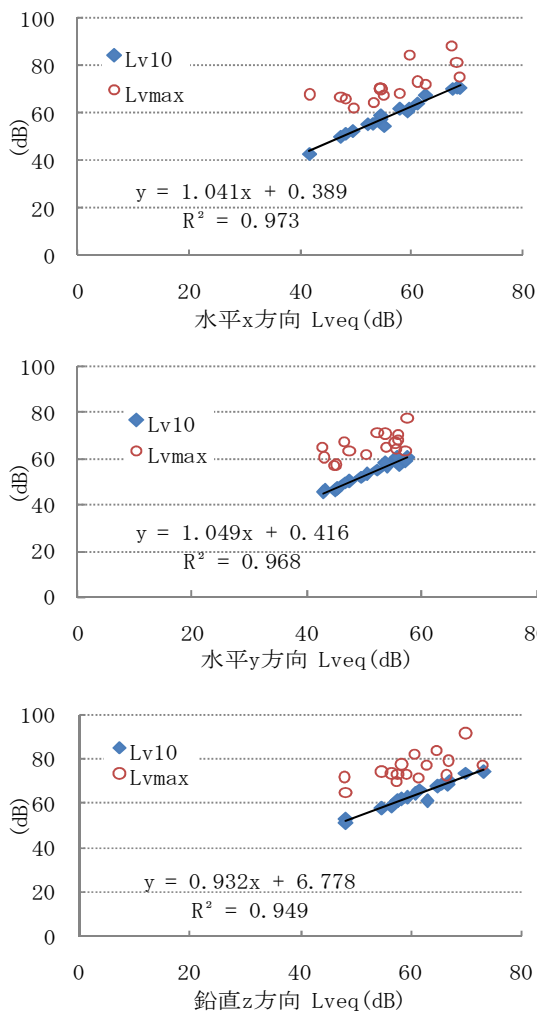


図1 Lveq と Lvmax、Lv10 の関係

図中に Lv10 と Lveq の回帰式及び R^2 を示したが、高い相関を示していた。一方 Lvmax と Lveq は一定の相関は見られるが Lv10 よりもばらつきが大きかった。

ここで Lveq は、建設作業から発生する振動も含め受振点の振動を総合的に評価できることから優れていると考えられている。さらに上述のように現行法で採用されている Lv10 と一定の相関があるため、本調査の検討では Lveq で行うこととし、敷地境界、住宅前面及び住居内についてまとめた。

(2) 敷地境界

調査対象作業の敷地境界における xyz 方向別の振動加速度レベルを比較するため、水平方向 x-y と垂直方向と水平方向 z-x のレベル差を図2にまとめた。図2から x 方向は y 方向より同じか大きくなる傾向を示した。また垂直方向と水平方向について、z 方向と x 方向のレベル

差を比較すると、z 方向は x 方向に比べて 5dB 以上高くなる割合が高く、敷地境界では z>x>y 方向の順に振動加速度レベルが大きくなる傾向が見られた。

これは、現行の振動規制が鉛直方向の振動加速度が水平方向よりも大きいとして組み立てられているが、これらに対するの最新の状況については、まだデータ数が十分に引き続き調査を重ねる必要がある。

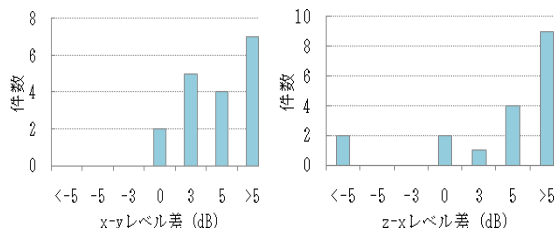


図2 水平垂直方向の振動レベル比較(敷地境界)

(3) 住居前面

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 方向別の振動レベルについて、敷地境界と同様に x-y 水平方向と z-x 垂直水平方向のレベル差について図3にまとめた。図3では x 方向と y 方向のレベル差は敷地境界と同様に x 方向は y 方向よりレベルが大きい傾向が見られ、z 方向と x 方向では、z 方向は x 方向より大きい傾向が見られ、z>x>y 方向の順に振動レベルが大きくなる傾向を示していた。

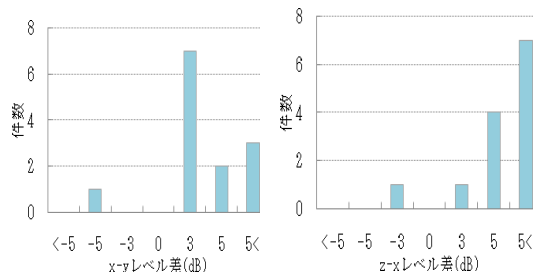


図3 水平垂直方向の振動レベル比較(住宅前面)

次に、敷地境界から住宅前面まで Lveq の減衰状況について、住宅前面と敷地境界における Lveq の差を距離で割り、距離 1m あたりの減衰割合として図4にまとめた。こ

れによると、xyz 方向とも距離 1m あたりの減衰量は 3dB 以内の割合が高かった。すなわち今回測定した地域では距離減衰がかなり小さい結果となっていた。

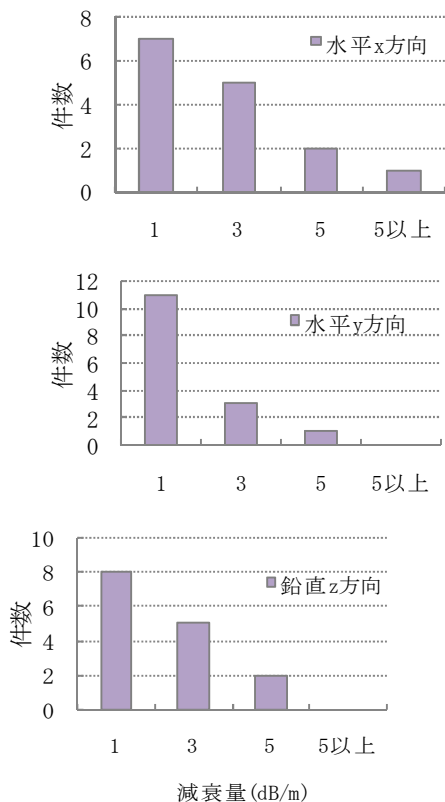


図4 距離減衰割合の分布

(4) 住宅内の振動状況

住宅内の L_{veq} について、どの方向が最もレベルが大きくなるのかを前項と同様に図5にまとめた。水平方向の x と y とを比較すると、-3 と 0dB が最も多く、レベル差が±3dB の範囲に入る割合が9割であった。また、z-x 方向では、5dB 以上の割合が最も高く、x 方向より 3dB 以上高くなる割合は6割を超えていた。

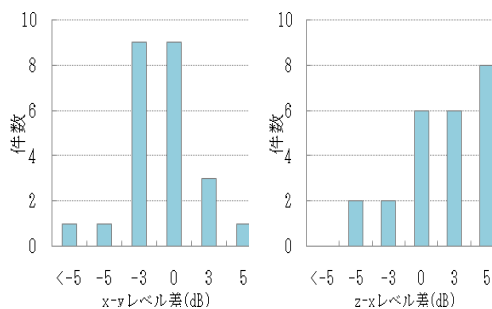


図5 水平垂直方向別の振動加速度レベル比較(住宅内)

次に、住宅前面と住宅内の等価振動加速度レベルについて、方向別にそのレベル差を図6にまとめた。図を見ると y 方向は、5dB 以上増加する割合は6割を超えていたが、x と z 方向では、増加するケースもあれば減少するケースもあり、一定の傾向は見られなかった。

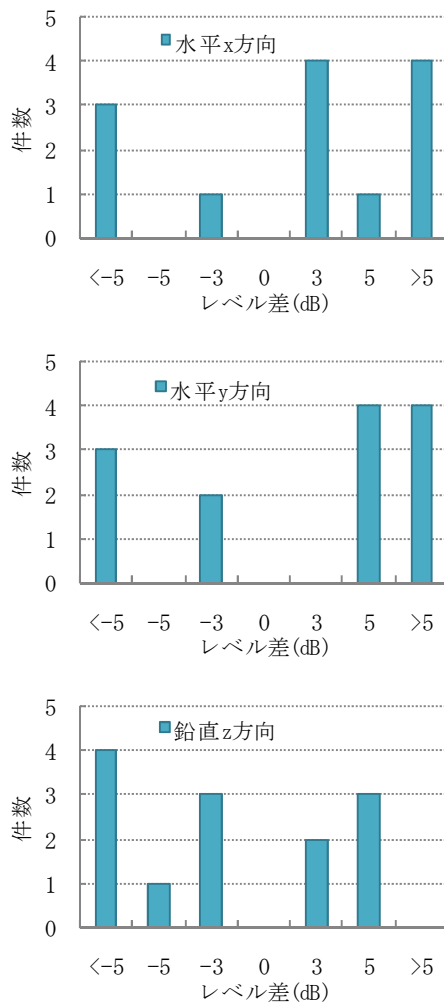


図6 住宅内と住宅前面の等価振動加速度レベルの差

(5) 周波数分析結果

振動に対する人の感覚は、周波数や方向により大きく異なる。最新の振動に関する国際規格(ISO2631:1-1997)では、人の振動知覚に対して、垂直方向では最も過敏な周波数は4~12.5Hz、水平方向では1~2Hzと示されている。

そこで敷地境界、住宅前面及び住宅内の振動について、建設作業工程及び調査場所の地盤に注目し、高速フーリエ変換を用いて振動加速度を周波数分析した。

まず、作業工程による振動への影響について、Z方向の

みを対象として周波数成分を比較する。比較にあたっては、地盤の影響を小さくするためにN値が低く、粘土か粘土シルトの地層が地下20m以上の深さまで占めている地域のもを対象(表2)とした。

表2 地盤の状況

	作業内容	地盤の状況		
		表層	10m深さ	20m深さ
建14	解体工事	砂 N=2	粘土質シルト N=0	
建17	山留め	シルト N=1	粘土質シルト N=1	シルト N=1
建18	躯体工事	粘土 N=1		
建19	杭抜き	粘土質シルト N=1	シルト N=1	
建20	杭打設	砂	砂質シルト	シルト
建21	杭打設	砂 N=24	砂質シルト N=8	シルト N=0

周波数0~100Hzまでの範囲で振動加速度を見ると、図7に示すとおり建19、建20と建21は掘削ドリルやクレーン等から発生する振動であり、その振動はほとんどが20Hzより大きい周波数で占められており、そのため調査した振動加速度が同程度であっても振動を感じにくいと思われる。

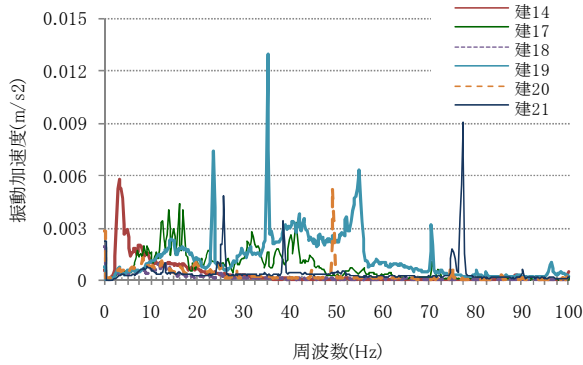


図7 建設作業別振動の周波数特性

また、人が最も過敏に感じる周波数0~20Hzの範囲について見ると、図8に示すとおり今回の調査では建14のように解体作業にその周波数が多く含まれていた。

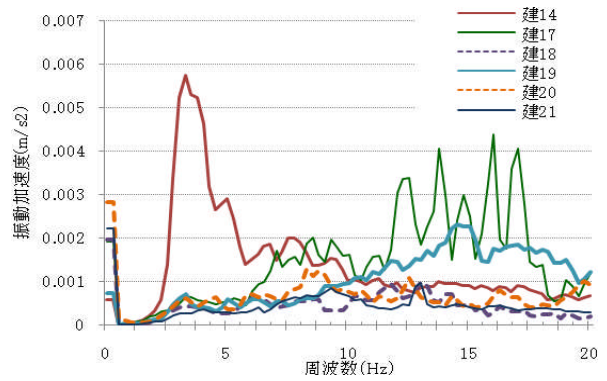


図8 建設作業別振動の周波数特性(1~20Hz)

次に建設作業振動と地盤の影響について、解体作業のうち共同住宅や学校など解体建物の規模が比較的同程度と考えられる8件を対象とし、地盤の堅さや地層により表3のようにAとBの2つに分けて、図9~10に周波数分析結果を示した。

表3 解体作業現場と地盤の状況

A	地盤の状況			B	地盤の状況		
	表層	10m深さ	20m深さ		表層	10m深さ	20m深さ
建7	ローム N=4	砂礫 N>50	粘土 N=6	建10	粘土質シルト N=1	粘土 N=0	砂礫 N=32
建11	砂	砂礫		建12	砂 N=2	粘土質シルト N=0	
建15	ローム N=10	砂質シルト N=11	砂礫 N>50	建13	シルト N=1		
建16	ローム N=10	砂礫 N>50		建14	砂 N=4	粘土質シルト N=0	

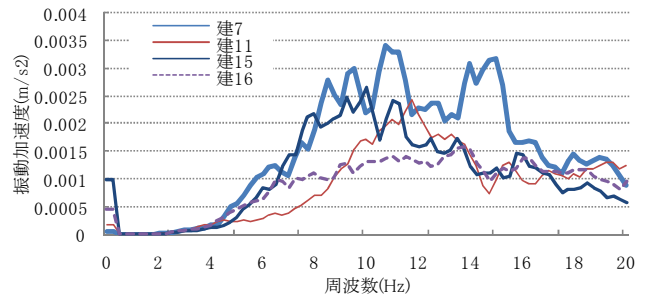


図9 解体作業からの振動特性(地盤A)

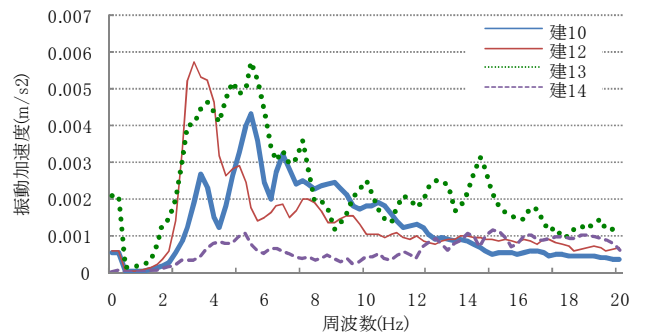


図10 解体作業からの振動特性(地盤B)

表層はローム層もしくは砂で、地表面から20m以内でN値が50を超える地盤Aでは、図9に示すとおり、周波数が8~14Hzの範囲に主たる成分を持つ。また表層が粘土質シルト、砂で地表面から20mの深さでもN値が低い地盤Bでは、図10に示すとおり2~8Hzの範囲に主成分があり、地盤Aの示す範囲とは異なっている。このことから地盤状況が振動伝達に影響すると思われる。なお、ここでは示さないが、水平方向x yについても同様に分析を行ったが、z方向のような傾向は見られなかった。

の関係を図11に示した。住宅前面の周波数成分と住宅内振動の周波数成分とは必ずしも一致しないが、z方向に関しては住宅前面における振動周波数が10Hzより低い周波数では住宅内においても卓越する可能性があるが、住宅は建物構造や振動方向との家の方向にも影響を受け、固有の振動周波数を持つものと考えられる。住居内の卓越周波数について、xyz方向別にその頻度を図12にまとめた。これによるとx方向は4~5Hz、y方向は4~6Hz、z方向は3~8Hzの周波数が卓越している頻度が高かった。

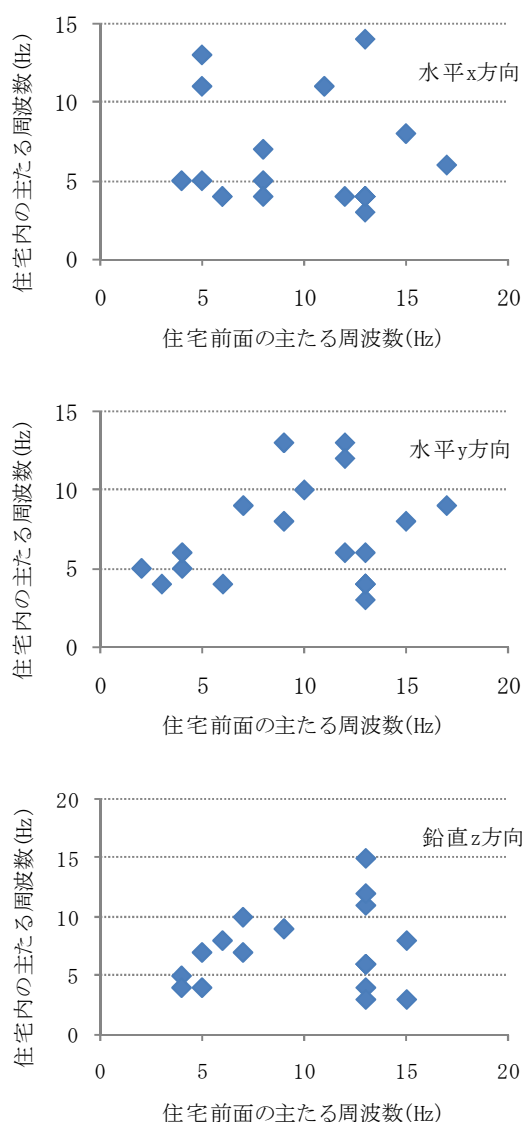


図11 住宅前面と住宅内の主たる周波数の関係

さらに、住宅に入力される住宅前面の周波数成分が地盤の状況により異なるため、住宅前面の周波数成分と住居内の周波数成分との関係について、主たる成分周波数

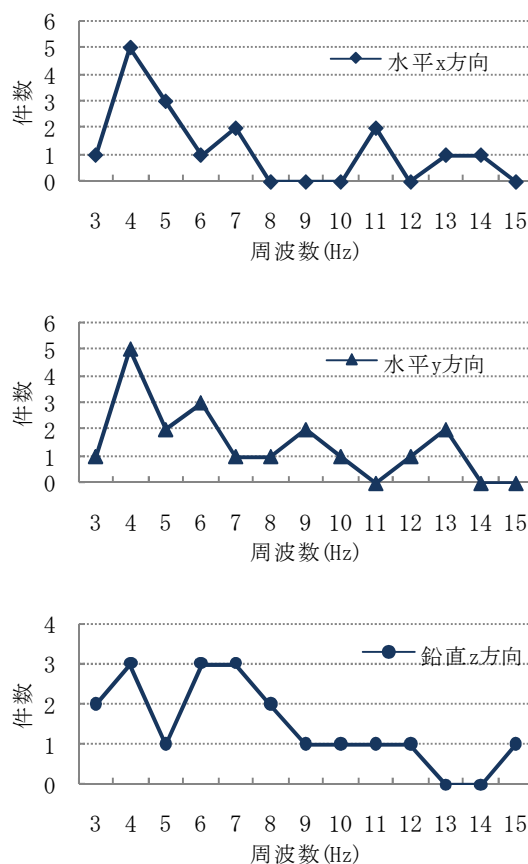


図12 住宅内振動加速度の主たる周波数の分布

4 考察

本調査は、振動評価手法の見直しと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、方向により減衰する割合が異なっていた。

住宅前面と住居内の振動加速度レベルを比較すると、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るが、水平方向 y は増加するケースが多い結果であった。

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、水平方向 y の振動の増幅傾向が見られたこともあり、今後さらに調査を進めて検討していきたい。

(2) 周波数成分から見る振動

振動の周波数成分について、建設作業内容と地盤の状況に分けて解析を行った。

作業別の比較は、表層から地下 20m まで N 値の小さい地域で比較を行ったが、解体作業の z 方向には人が振動に過敏に反応する周波数 (3~12Hz) が多く含まれていた。それ以外の杭打ち、杭抜きや躯体工事ではそれらの成分は比較的少なかった。

また、 xy 方向については、作業内容にかかわらずそれぞれが 2~14Hz の間で異なる主成分を持っており、作業内容の違いによる影響は見られなかった。

地盤の状況による影響は、解体作業について N 値の比較的小さい地域 (土質は砂、粘土シルト質) と比較的大きな地域 (ローム層と礫層) に区分し、敷地境界における周波数成分の比較を行ったところ、 z 方向の周波数は N 値の小さい地域では 3~7Hz に主成分を持ち、 N 値の比較的大きな地域では 7~12Hz の範囲に主成分をもつ傾向が見られた。この調査では N 値だけで検討を行ったが、その他の要因について今後も検討したい。

住宅内振動の周波数成分について、住宅前面における周波数成分と比較すると、住宅に入力された周波数成分を持つ振動が住居内振動の周波数と必ずしも一致せず、 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。

おわりに本年度は、建築工事自体の件数が少なく、調査対象の多くが解体作業となった。今後は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。