

伝達関数法振動試験の水平振動公害への適用

An Application of Vibration-test by Transfer Function Method to Control of Horizontal Vibration Hazard

清宮 千雪 松岡 達郎

要 旨

住宅街の近接する数戸の家屋の中で、1戸だけが振動を感じるという苦情が発生した。原因は近くの事業所所有の破碎機が発生する水平振動であったが、振動数が4.15 Hzと低いために、従来行われている振動源の振幅減少対策をとるには、種々の困難が予想された。

そこで、伝達関数法振動試験により家屋の振動特性を求めた結果、苦情者宅家屋は他家屋に比べ、破碎機の振動数付近で非常に揺れやすくなっている（共振点で増幅度が高い）ことがわかった。

このことから、破碎機の振動数を変更することにより共振をさけるという手法を検討・実施し苦情の解消をみた。

1 はじめに

振動公害の多くは地盤を伝わる上下動によって引き起こされる。また、家屋は一般に上下方向については振動を増幅しない。したがって、通常の機械振動等の防振方法は、機械の弾性支持を主とした振動源の振幅減少対策によることが多い。

ところが、水平加振する振動源からの振動公害では家屋が水平方向には共振時に高い振動増幅を起しやすいため、地盤上では微弱な振動であるのに家屋上では有感となることがある¹⁾。さらに家屋を共振させる地盤振動が一般に数 Hz 程度の低周波成分であることから、弾性支持対策が技術的にも経費の点でも不利になることが多い。

そこで、このような場合、家屋自身の振動特性（固有振動数、増幅度等）を十分見きわめた上で振動源の加振振動数を変更し、家屋の共振状態を解消させる対策手法が検討されてもよい。従来、理論的にはこのような手法が考えられてきたが、家屋の振動特性を得るための振動試験が容易ではないことから、事実上確立されてはいなかった。

本稿は破碎機からの微弱な水平振動（地盤上で0.23 gal）によって、住宅街の特定の家屋にのみ苦情が発生した振動公害に対し、当所で開発された伝達関数法振動試験²⁾を用いて家屋の振動特性を把握した上で、

破碎機の回転数変更による対策を施した事例を報告するものである。

2 調査に至る経緯

昭和60年11月、A市の1市民から、「2階でねじれるような振動が感じられる。」という苦情の訴えがあった。A市公害対策課で調査したところ、苦情者宅ではその現象を体感することができたが、周辺の他の家屋では一部で窓の格子が揺らぐことが観察された程度で家屋内では全く無感であった。

苦情者宅近隣には振動源と思われる破碎機を有する事業所があるが、当該地域が国道、県道、市道に囲まれた三角地帯になっており、道路振動による可能性もあり原因がつかめないため、昭和61年2月、大気保全課を通じ公害センターに振動源特定および防止対策のための測定依頼があった。

3 測定方法

苦情者宅家屋並びに対照として苦情を訴えていない家屋（対照家屋）について、いずれも2階床上及び直近地盤上に振動ピックアップ（3成分……水平X・Y方向、上下方向）を設置し、家屋及び地盤上の振動性

状（揺れの方向、強さ及び周波数成分）を破碎機の稼動時及び停止時にわけて測定した。また、両家屋の振動特性の相違を知るために伝達関数法による振動試験を実施し、各々の固有振動数及び増幅度を求めた。

さらに、振動源を特定するために破碎機についても振動3成分（回転軸方向、回転軸に直角方向及び上下方向）の測定を行った。

これらの測定場所及び周辺道路との位置関係を図1に、測定・解析に使用したシステムのブロックダイアグラムを図2に示す。

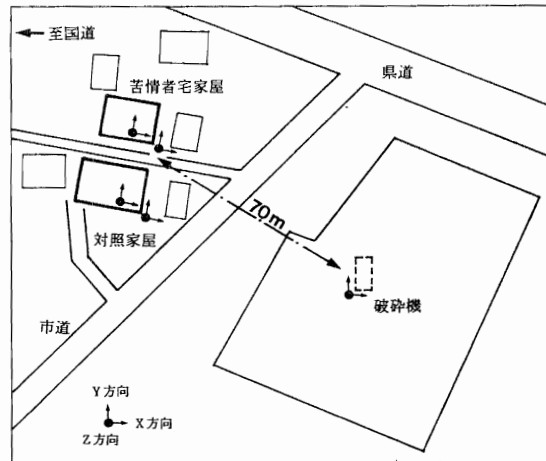


図1 測定場所

VIBRATION PICKUP

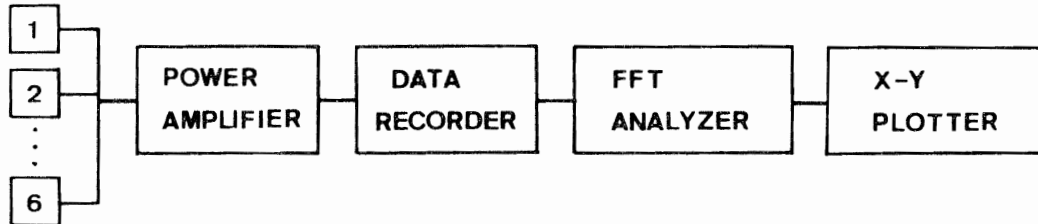


図2 測定解析システム

4 測定結果

4・1 家屋の振動性状と振動源の特定

図3(a)は破碎機稼動時の苦情者宅2階床上の振動加速度スペクトルであるが、4.15 Hz成分が大きく卓越している。この成分の振幅は1.28 galと図中点線で示したMeisterの振動感覚曲線の知覚限界を超えており苦情者がこれによって振動を感じていることがわかる。Y方向；Z方向についても同様に4.15 Hzが卓越成分となっていたが、いずれも0.51 gal、0.20 galと知覚限界をはるかに下まわっていた。

また、図4は2階床上のX、Y成分を用いて家屋の振動軌跡を示したもののだが、両方向の安定した位相ずれによりきれいな楕円運動をしていることがわかる。したがって、これが苦情者の言う「ねじれ振動」感の原因と思われる。

図3(b)は破碎機停止時のスペクトルであるが、稼動時に現われていた4.15 Hzの卓越成分は消滅している。さらに破碎機上で得られたスペクトル（回転軸に直角方向……図5）における最大卓越成分が家屋と全く同一の4.15 Hzとなっていたことから、振動源は破碎機に特定された。

なお、この4.15 Hzは破碎機の定格回転数250 rpm（ $\div 4.15$ Hz）に一致していた。

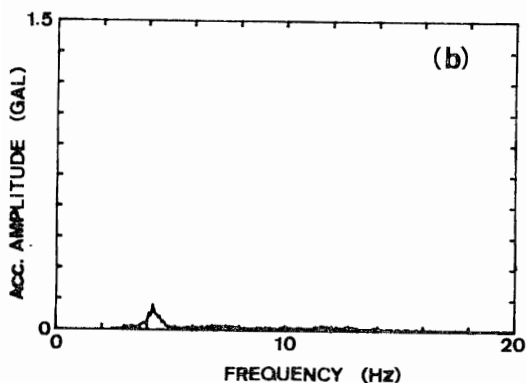
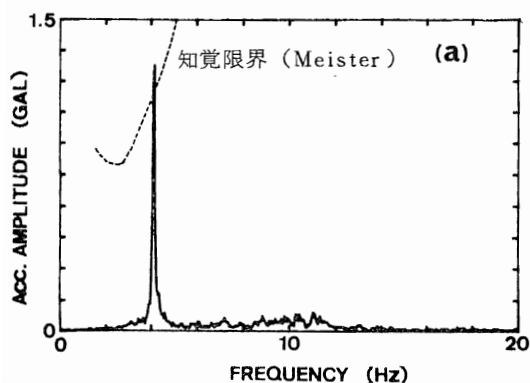


図3 苦情者宅2階床上の振動加速度スペクトル
(a) 破碎機稼動時
(b) 破碎機停止時

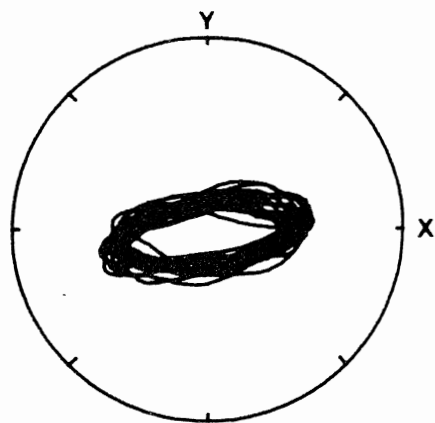


図4 苦情者宅2階床上の振動軌跡

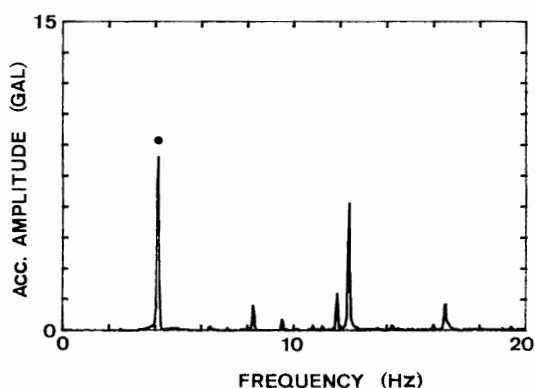


図5 破碎機の振動加速度スペクトル
(回転軸に直角方向)

4・2 家屋の振動特性

4.1において苦情者宅家屋の振動が有感であることが確認されたが、苦情者宅周辺にある数件の家屋からは一切苦情の訴えはなかった。図6はこれらの家屋中から選んだ対照家屋の2階床上で得られた破碎機稼動時の振動加速度スペクトル(X方向)であるが、苦情者宅と同一の4.15 Hz成分が現われているものの、振幅が0.67 galと小さく確かに有感とはならない。

ここで地盤上の振幅(0.23 gal)を用いて各々の家屋の地盤に対する振幅比をとると、対照家屋では2.9倍であるのに対し苦情者宅では5.6倍と、2倍程大きな値を示していることがわかる。このことから苦情者宅家屋は対照家屋に比べ、破碎機から伝わる振動に対して特に不利な応答系となっていることが推定された。

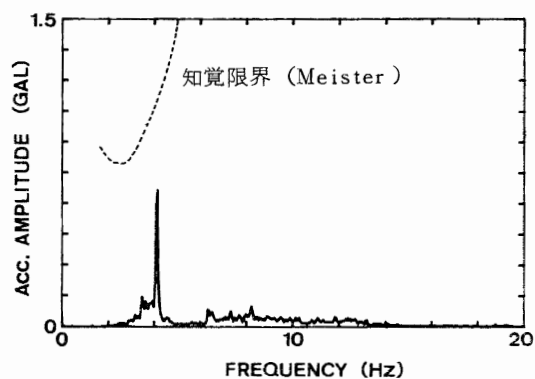


図6 対照家屋2階床上の振動加速度スペクトル

ため、常時微動を利用した伝達関数法振動試験により両家屋の振動特性を求めた。

図7は苦情者宅家屋(a)、対照家屋(b)の伝達関数である。図から苦情者宅は固有振動数4.35 Hz、共振時の増幅度8.5であり、対照家屋は固有振動数4.25 Hz、共振時の増幅度3.1であることがわかる。すなわち苦情者宅家屋は対照家屋に比べ、固有振動数はほぼ同様ではあるが増幅度が相当高くなっており、共振点近傍で他の家屋よりも揺れやすいことが明らかである。実際に、今回の家屋に対する入力である4.15 Hz成分について図7の伝達関数から予測される増幅度は、苦情者宅家屋で5.1、対照家屋で2.8となり苦情者宅家屋がこの成分で、やはり不利な条件となっていることが証明されよう。

なお、ここで得られた各々の増幅度は先に示した破砕機稼動時の両家屋の地盤に対する振幅比とよく一致しており、伝達関数法の精度が十分であることがわかる。

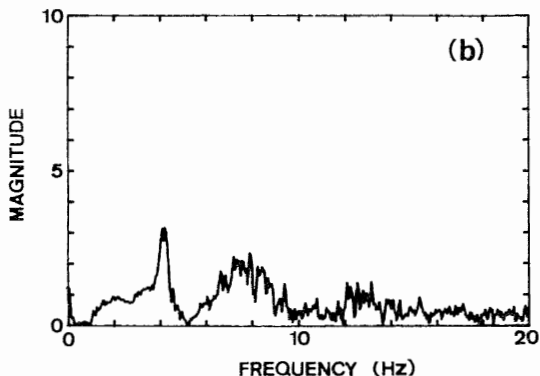
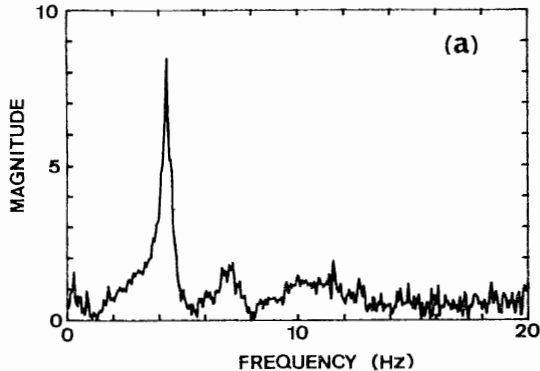


図7 家屋の伝達関数
(a) 苦情者宅家屋
(b) 対照家屋

以上の検討により、破砕機から伝わってきた地盤の微弱な水平振動の振動数と家屋の固有振動数とが近接しているために、家屋が共振点近くで励振され振動を増幅しているものと考えられる。特に苦情者宅においては増幅度が4.15 Hzで5.1と高い値になっていたために、2階における振動が知覚限界を超え苦情の訴えがあるに至ったと思われる。

5 防止対策の方法

この破砕機にはすでに防振ゴムが装着されていたが振動伝達率を下げるには空気バネ等の固有振動数の低い防振装置を使用せざるを得ない。その場合、バネ上の振動が相当増加することが予想されるため、大型の重量架台を新たに設けるなど経費及び安全上の種々の問題が起こることが考えられる。

そこで、苦情者宅家屋の伝達関数を利用して破砕機の回転数を家屋の共振点付近からはずすことにより、家屋を共振状態から離脱させ振幅を減少させる方法を検討した。

現在苦情者宅2階床上で加速度振幅が1.28 galとなっているため、これを知覚限界の1 gal程度以下とする必要があるが、安全をみて現状の1/2振幅(0.64 gal)程度を目標とする。地盤の振幅が0.23 galであることから、目標達成のためには家屋の増幅度が2.5以下(= 0.64/0.23)となる振動数領域に加振振動数を変更すればよい。これを模式的に図8に示すが、増幅度2.5以下となる振動数領域は低域側、高域側の2領域あり、それぞれ3.7 Hz以下、4.7 Hz以上(図の斜線部分)となっている。原理的にはいずれの領域でもよいが4.7 Hz以上を採用すると、

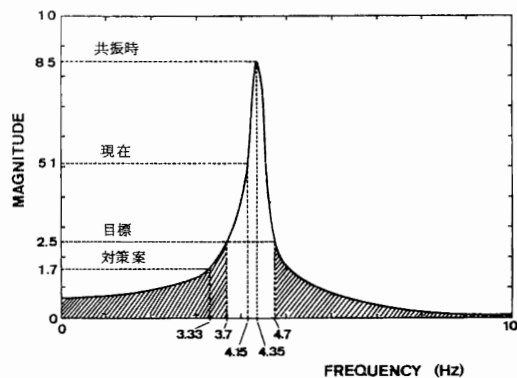


図8 加振振動数変更のための模式図

① 破砕機の電動機の交換が必要になるなど振動源側に困難な条件が生じる。

② 木造2階建の平均的な固有振動数が6 Hz程度にあるため(当所調査による…本年報「木造住宅の振動特性について」に詳述)苦情を訴えていない他の家屋を共振させてしまう危険性がある。

などの問題点があるため、今回は3.7 Hz以下を採用する方針が決定された。

最終的には破砕機メーカーが破砕効率の実用限界を考えあわせて、電動機側のプーリーを小径のものに取り換え、回転数を250 rpm(≒4.15 Hz)から200 rpm(≒3.33 Hz)に変更することとした。この回転数で発生する地盤振動によって励振される苦情者宅家屋2階の振幅は、伝達関数の増幅度(3.33 Hz時…1.7倍)から地盤の振幅が対策前と等しければ約0.4 gal(=0.23 gal × 1.7)程度となることが推定された。

6 対策効果

図9に苦情者宅2階床上の対策前(上)、対策後(下)の振動加速度スペクトル(X方向)を示す。破砕機の回転数変更に伴って対策後は破砕機による卓越成分が3.25 Hz(195 rpm)となり、ほぼ計画どおりの値となった。一方、振幅は対策前の予想値の1/4近くにも減少したが、これは図10に示したとおりの入力となる地盤上の振幅も、0.05 galと対策前(0.23 gal)のほぼ1/4程度になったためであった。したがって地盤と家屋の振幅比(1.6倍=0.084 / 0.050)は伝達関数の増幅度(3.25 Hz…1.6倍)とよく一致していた。

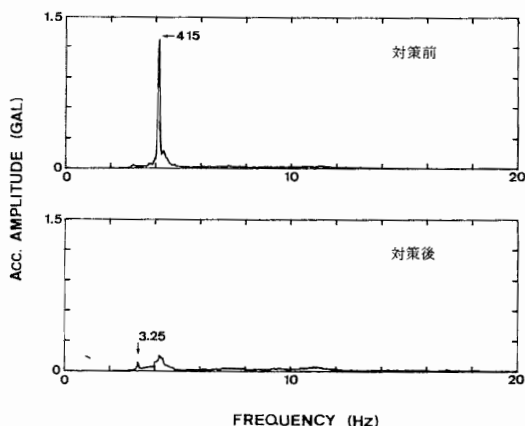


図9 対策前後の比較(家屋)

なお、破砕機に特別な振幅減少対策を施さなかったにもかかわらず、地盤上の振幅が大きく減少した理由としては、

① 破砕機の回転数が最高効率回転数からかなり離れたことによる加振力の低下

② 加振振動数の変化による機械基礎-地盤系の振動伝達率の減少

③ 距離減衰性状の変化(例えば表層での重複反射の解消)

などが推測されるが、今回はこれらを特定する調査は実施しなかった。

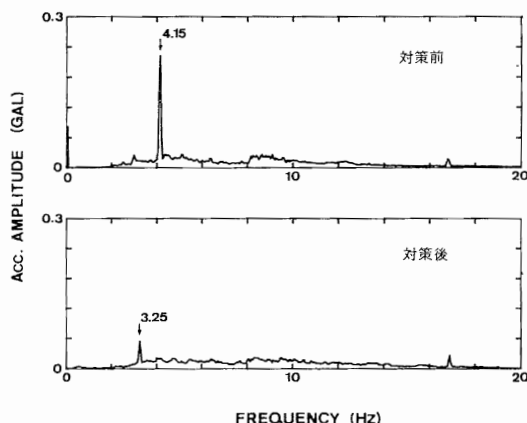


図10 対策前後の比較(地盤)

7 あとがき

本事例は振動公害を受振点(家屋)側の視点から認識することによって、従来の弾性支持法を主体とする振動源の振幅減少対策を採用することなく、加振振動数制御によって家屋振幅を低減させたものである。

今回の対策に要した経費は30万円程度であったが、例えば弾性支持法を採用した場合には、相当柔らかな防振装置を使用せざるを得ないことから生じる様々な問題を解決するために、恐らく10倍以上の経費が必要となったであろう。これは、もちろん弾性支持法等従来の手法のコストパフォーマンスの低さを特記しようとするものではない。

弾性支持法の普及が、「振動公害」(法が認知する地盤上の規準以上の上下振動)の減少に大きな役割を果たしてきたことは事実である。しかしながら、「振動公害」が減少するにつれて水平振動による家屋振動

障害が顕在化する機会が増えてくることも杞憂とはいきれない。そして、このような水平振動障害については従来のように、敷地境界地盤の振動レベルをもとに振動源の振幅減少を図る手法が、多くの場合適用不可能になることも事実である。

したがって、従来の対策方法が、多発した「振動公害」を解決する中で方法論を確立してきたように、水平振動公害についても特に受振点側の視点から事例を集積し、従来とは異なる方法論の構築を図る必要があるものと思われる。

文 献

- 1) 松岡 達郎, 小林 良夫: 金属工場周辺の地盤と家屋の振動について, 埼玉県公害センター年報, [9], pp. 19 ~ 25 (1982)
- 2) 松岡 達郎: 低層構造物の振動試験法の開発, 同誌, [12], pp. 9 ~ 15 (1985)