

超高層住宅の長周期振動に対する振動感覚の調査研究(2) (梗概)

超高層住宅振動限度委員会

代表 神田 順

第1章 序

1. 1 研究目的

本研究の主要な目的は、長周期水平振動の知覚閾のパラッキを確率統計的に評価すること、およびこれらに基づいて超高層住宅の居住性を考慮した使用限界状態設計に関する具体的手法を明らかにすることである。

1. 2 研究の経緯と方法

昨1987年度の調査研究(1)^{*1)}では、長周期水平振動に関する既往の研究の文献調査、23階建てSRC高層住宅における振動感覚予備調査、振動試験装置の開発、および同試験装置による座位での正弦波知覚閾試験を行った。

本年度は、臥位での正弦波知覚閾試験と座位でのランダム応答波知覚閾試験を行い、座位での正弦波知覚閾試験結果との比較検討を行った。また、これらの成果を使用限界状態設計法へ適用する手法についても検討した。

第2章 座位での正弦波知覚閾試験

2. 1 試験方法

2.1.1 試験装置^{*1)} 知覚閾で対象とする低い加速度レベルでは、様々な外乱に被験者が感応することが考えられ、波形精度を高めることは、データの誤差を防ぎ、知覚閾の信頼性を高める最も重要な要素となる。既往の振動台等の性能調査を行ったところ、いずれもISO基準による最小知覚閾(1 Hzにおいて0.5 gal, 0.2 Hzにおいて1.0 gal)付近の加速度レベルでは、波形の制御が不可能であった。以上から専用の試験装置の開発を計画した。

試験装置の開発に当たって、試験波の種類、試験範囲、波形精度、騒音の影響、被験室の居住性等が検討された。実験の目的から、正弦波およびランダムな建物の応答波を出力できる必要があること、一定の周波数の正弦波で自由に振幅を制御できること、最小周波数を0.2 Hz、最大加速度振幅を15 gal程度とする等が挙げられた。種々検討した結果、試験室をワイヤーで吊り下げ、スプリン

グを介して電磁励振機によって加振を行う方法を採用することにした。モデル実験および数値シミュレーションを実施し、実験範囲の周波数および加速度レベルにおいて、当初の目標を満足する好結果を得た。

モデル実験結果を参考に、試験装置を製作し、名称をSpring Pendulum Shaking Simulator (S.P.S.S.)とした。加振用電磁励振機の性能、および試験周波数範囲から、装置の振子長を4 m(固有周波数0.25 Hz)に設定した。試験室として幅2.4 m、長さ3.7 m、高さ2.4 mのユニットハウスを振子のベースフレーム上に設置した。試験室内部はできるだけ被験者が実際に居住している心理状態で試験ができることが望ましく、室内の雰囲気を十分に考慮した。一度に試験を行う被験者数は2名とし、1名は振動方向を向き(以下、順方向)、もう1名は直角方向を向いて、部屋の中央に設置した90 cm角のテーブルをはさんで椅子に座らせた。

加振方向のノイズレベルは5 Hz以下の周波数範囲で、基本入力波に対し30 dB以下であった。また、横方向の振動は固有振動数が5 Hzであり、試験波とははっきり区別がつくものであった。試験装置の有効質量は2名搭乗時で2385 kg、固有振動数は0.44 Hzであり、装置の減衰定数は約4%であった。

2. 1. 2 試験波の種類とその知覚確認方法^{*1)}

試験波の周波数は2 Hzを最大とし、以下1オクターブをほぼ5等分したポイント0.333 Hz, 0.5 Hz, 0.8 Hz, 1.25 Hz, 2.0 Hzの5種類とした。一定周波数で振幅を徐々に増加してゆき、予め周波数毎に定められた最大加速度に達すると徐々に低下させる。1人の被験者にとって1周波数当りの暴露時間は5分とし、加振方向を順方向および直角方向の2種類、総ケース数10回を行うこととした。被験者の拘束時間は1時間30分程度である。

なお、周波数の暴露順序による差を緩和するため周波数順序をランダムにすること、被験者に試験波を認識させておくため試験開始前に試験の主旨、方法、振動方向の説明を行い、試験波認識のためのトレーニングを0.5 Hz, 1.25 Hzの2種類行うこと、前半5回と後半5回の間5分以上の休憩時間をとることとした。

被験者にスイッチを押してもらった感応状態は単に振動を「感じた時」とすることとし、ホールドスイッチによ

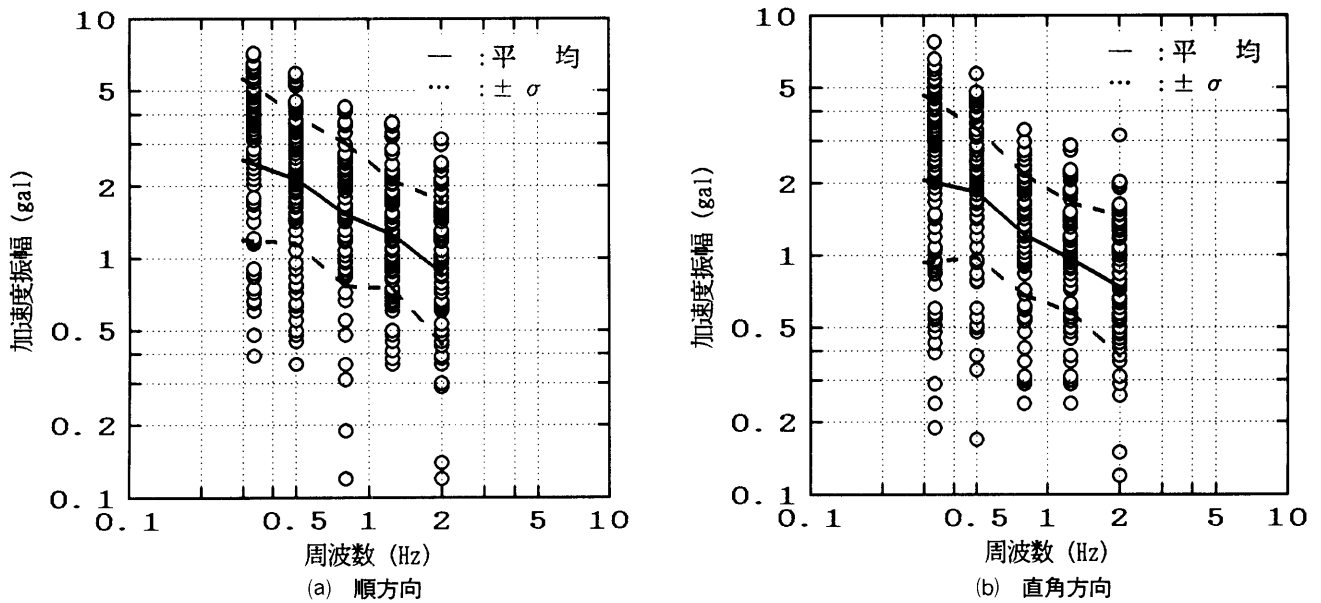


図1 座位での正弦波知覚閾 (UP)

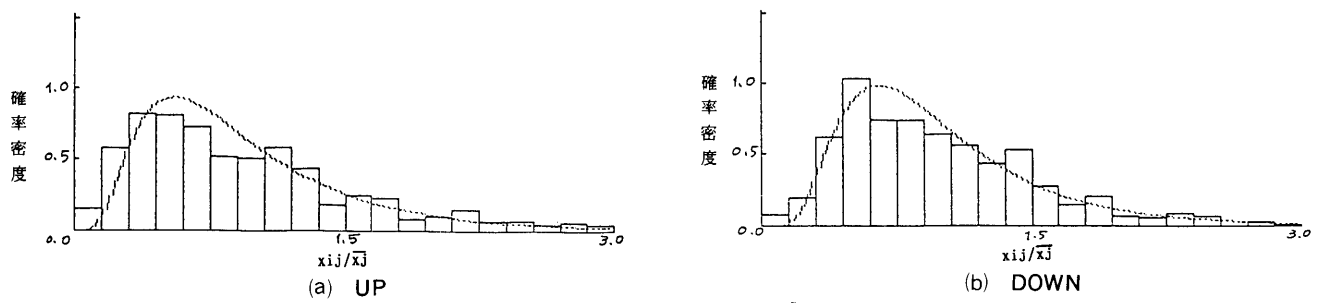


図2 座位での標準化知覚閾の確率密度分布 (全資料, 順方向)

て振動を感じている時 ON (ランプ点灯), 感じていない時 OFF (ランプ消灯) の操作を行わせる。以下では, 振幅増加時の感じ始めを UP, 減少時の感じ終わりを DOWN とする。

2. 1. 3 被験者へのアンケート^{※1)}

被験者として19才~71才の男女122名(男性82名, 女性40名)が集まった。試験開始前に被験者の層別のためのアンケート調査と, 各回の試験終了時に試験波の認識に関するアンケート調査を行った。

2. 2 座位知覚閾試験結果^{※1)}

図1(a)(b)は順方向および直角方向の知覚閾 (UP) を示した。平均, および σ は対数平均, 対数標準偏差をあらわす。図2(a)(b)には標準化知覚閾 (各周波数毎にその平均値で標準化した値 X_{ij}/\bar{X}_j : i : データ番号, j : 周波数) を, 全周波数についてまとめたものの確率密度分布を示した。これらの試験結果から明らかにされた点は, 以下のとおりである。

- (1) 平均知覚閾は0.333 Hzの2 galから2 Hzの0.8 galを結ぶ直線にほぼ一致し, その傾きはISO基準値に近い。
- (2) 知覚閾の確率密度分布は概ね対数正規分布で近似できる。

- (3) 平均知覚閾はDOWNの方がUPよりもやや低く, より敏感である。
- (4) 直角方向の知覚閾は順方向に比べ, やや低く, より敏感である。
- (5) 女性の方が男性よりもやや敏感である。
- (6) 年齢による差はあまり明確でない。

2. 3 アンケート結果と知覚閾試験結果の対応^{※2)}

被験者に対する一連のアンケート調査の回答と, 知覚閾等との対応関係は次のとおりであった。

- (1) 体型: (体重, 単位 kg)/(身長-105, 単位 cm) を身体指数とし, この値と標準化知覚閾との間の関係を調べたが, 両者に関連性は見られなかった。
- (2) 酔い易さ: 車などのように比較的短周期の振動で酔い易いと答えたものの方が振動に対してやや敏感であるという傾向が見られた。
- (3) 振動知覚のきっかけ: 順方向の場合は, 床と接触している部分と, 目が回るような感じによる知覚がかなりあったのに対して, 直角方向では手足の揺れによると答えたものが若干名見られた。
- (4) 知覚された振動の方向: 加振方向以外の方向を回答しているものが, 振動数が高くなるに従い増加する傾向

がみられた。特に直角方向において顕著であり、回転方向と回答したものが相当いた。加振方向以外の回答をしたものは、振動により敏感な傾向がみられた。

第3章 臥位での正弦波知覚閾試験

3.1 試験方法

試験方法は第2章で述べた座位の知覚閾試験と殆ど同じであり、同一のS.P.S.S.試験装置を用いて、臥位（仰向けに横たわった姿勢）での振動知覚閾試験を行った。以下、座位の試験と異なる点について述べる。

3.1.1 試験装置

被験者は試験室内に設置した寝台上に仰向けに横たわり、寝台は試験時の加振周波数で寝台自体や被験者が共振しないように、比較的硬めのクッションをもったもの、また脚のしっかりしたものなどを条件に選定した。これを試験室の奥側に振動方向に直角な向き、入口側に振動方向に設置し、被験者には適度な硬さの枕を使用させた。

3.1.2 被験者およびアンケート

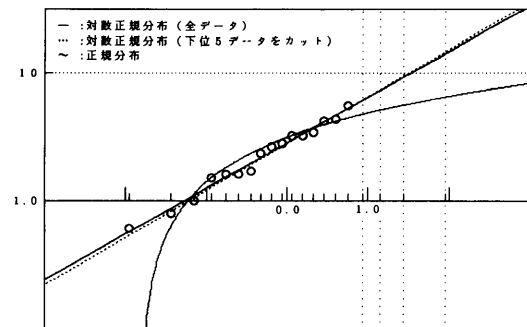
被験者数は20名であり、第2章の座位知覚閾試験の被験者122名の中から選出した。その際、座位の標準化知覚閾を個人別に全周波数足し合わせたもので振動感覚の順位づけをし、それを20等分した各層から1名ずつを選出して、振動感覚の偏った人のみが選出されることを避けた。

3.2 データ整理の方法³⁾

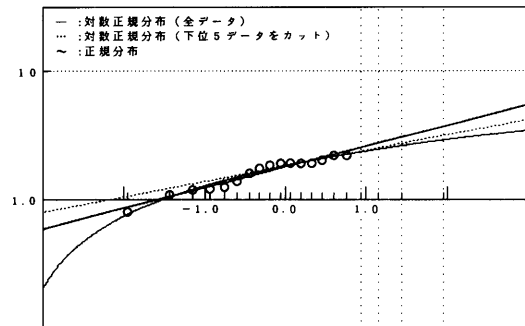
この試験では、全体の2割程度の被験者が最大加速度時でも振動を知覚せず、知覚閾に関するデータが得られなかった。しかし、そのレベルまで感じなかったことは事実であり、何とかその事実を活かしたい。そこで、これら被験者の高すぎた知覚閾を、次のように推定して、平均値や変動係数の算定を行った。まず、全員の知覚閾に順位づけをし、Hazenの方法によって各々に非超過確率を与える。次に、知覚閾は対数正規分布に従うものとし、データの得られた者のみの知覚閾と非超過確率のプロットから、最小自乗法によってそのパラメータを決定し、このパラメータを用いてデータの得られなかった高知覚閾者の知覚閾を推定する。なお参考として、知覚閾の小さい方からも5個のデータを省いて推定したものと、正規分布に従うものとして推定したものも検討した。

3.3 試験結果

前述の方法で対数正規分布と正規分布へ当てはめた例を図3(a)(b)に示す。プロットに沿って引かれた実線の直線と曲線は、各々対数正規分布と正規分布に当てはめた



(a) UP



(b) DOWN

図3 臥位での正弦波知覚閾の確率分布への当てはめと無知覚者の知覚閾の推定

ものであり、点線は小さい方からも5個のデータを除いたものを対数正規分布に当てはめたものである。ここで、縦軸と平行な4本の点線が、データの得られなかった被験者に対する経験的非超過確率であり、この点線と上記の直線または曲線との交点の縦軸の値が、これら被験者に対して推定された知覚閾である。全般的には、図の実直線で示した対数正規分布の適合性が最も良かった。

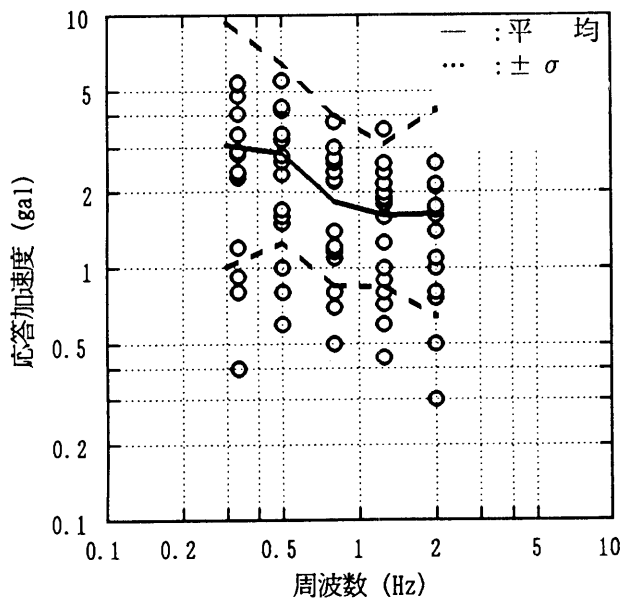
このような方法で求めた知覚閾の平均値、標準偏差とともに、知覚閾の試験結果を図4(a)~(d)に示す。実線が平均値、点線が平均値±標準偏差である。これらの結果から、次のようなことが言える。

- (1) 低周波数側ではDOWNの方がUPよりも敏感であるが、高周波数側では両者の差は小さい。
- (2) 高周波数側では直角方向の方が順方向よりも敏感であるが、低周波数側ではほぼ同程度である。

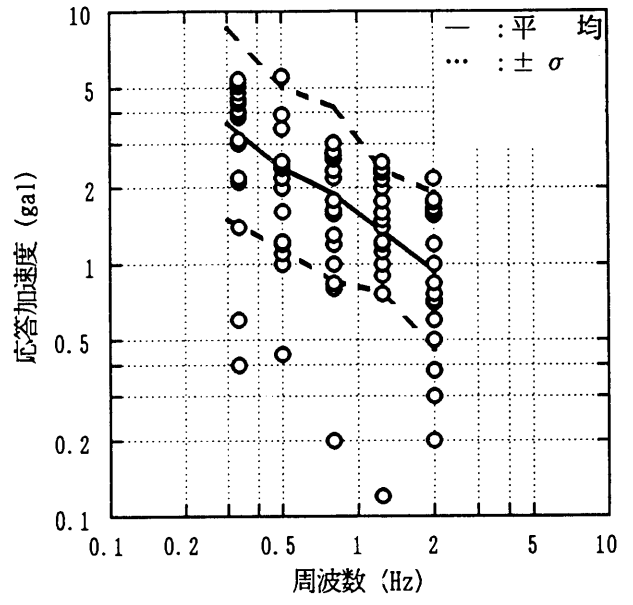
第4章 座位でのランダム応答波知覚閾試験

4.1 試験方法

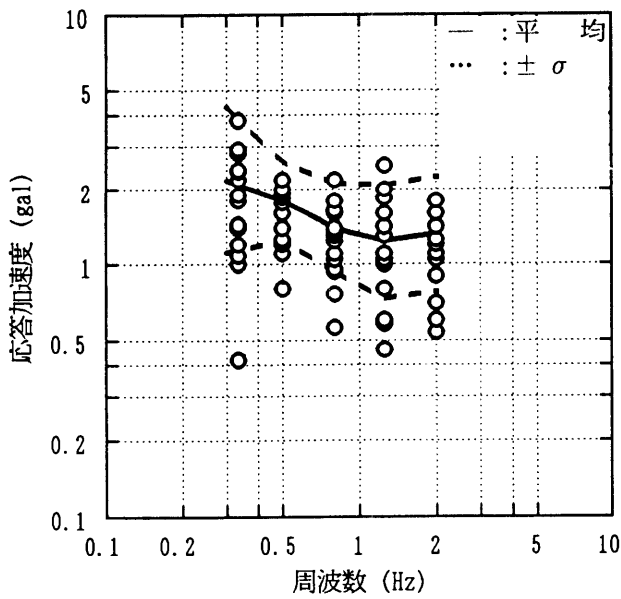
これまでの正弦波知覚閾試験によって得られた知覚閾が実際の建物において発生する振動と、どう対応するかを調べるため、強風時の建物の揺れを想定した振動波形を用いて知覚閾試験を実施した。試験は、第2章、第3章と同じS.P.S.S.装置によって行い、座位による順方向および直角方向の知覚閾を調査した。



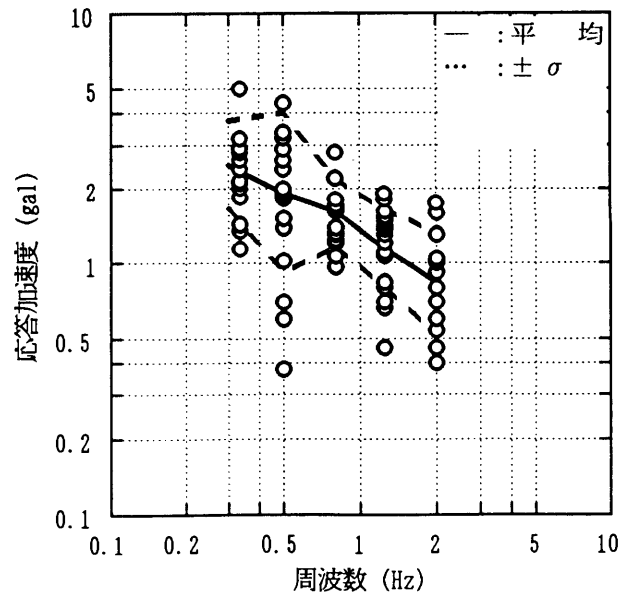
(a) 順方向 UP



(b) 直角方向 UP



(c) 順方向 DOWN



(d) 直角方向 DOWN

図4 臥位での正弦波知覚閾

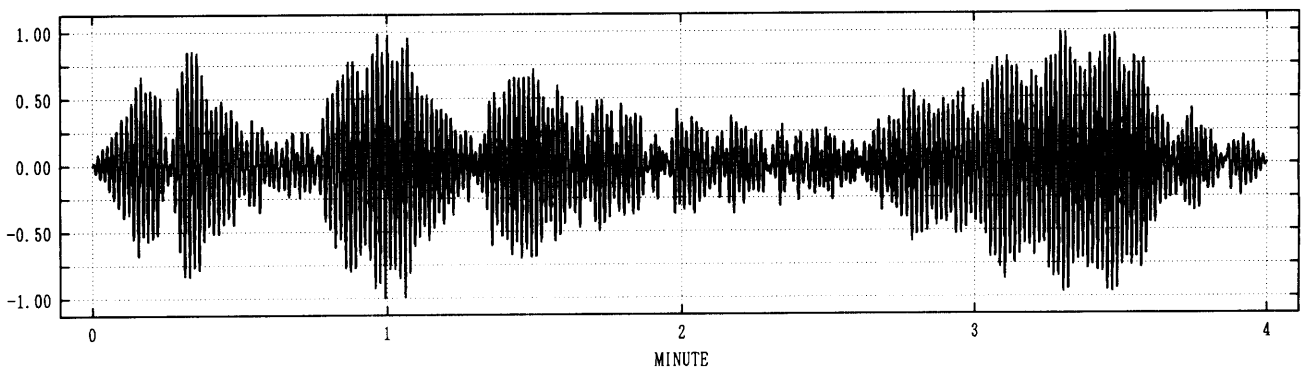


図5 ランダム応答波の波形の1例 (固有振動数 1 Hz)

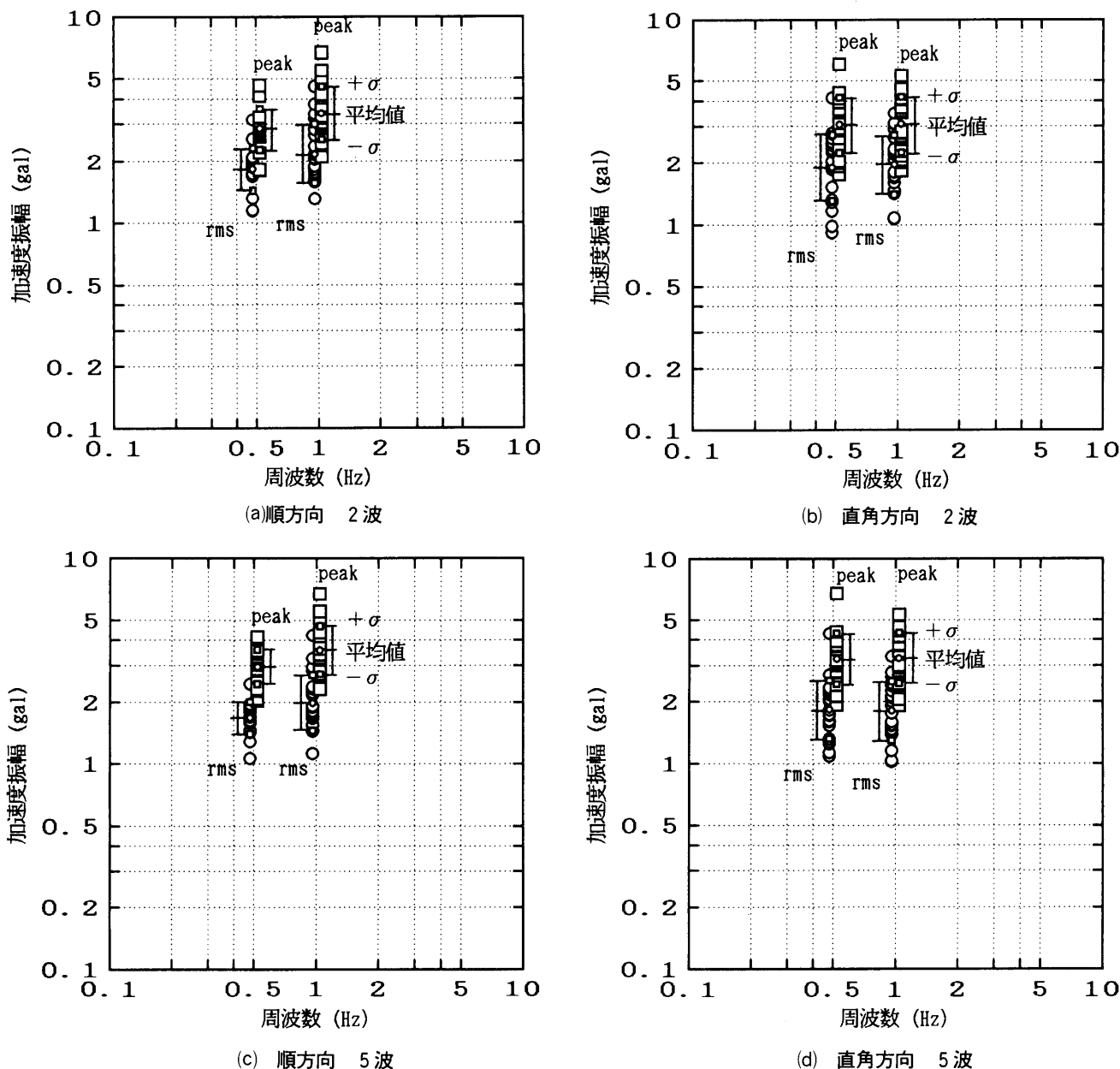


図6 座位でのランダム応答波知覚閾

建物の1次固有振動数を0.5 Hzおよび1.0 Hz、減衰定数を0.01に想定し、固有振動数の異なる2種類の強風時応答波を作成した。風力は単純にカルマン型スペクトルで仮定し、建物を1質点系モデルとした場合の応答スペクトルを求めた。この応答スペクトルに基づいて、位相をランダムに設定したフーリエ逆変換を行い、4分間の基本応答波を作成した。振幅が基本応答波の0.25倍のものから、0.5倍、0.75倍、1.0倍の波へと順次つなぎ合わせ、継続時間が合計16分間の試験波を作成した。図5に1 Hzの場合のランダム応答波の例を示した。

被験者は、臥位正弦波知覚閾試験と同様の方法で、20名選出した。

4.2 データ整理の方法^{文3)}

想定した周期1および2秒の建物の加速度応答波は、

比較的緩やかな振幅変調を伴う正弦波になるため、振動知覚の有無が繰り返され、被験者はその都度スイッチのON、OFFを行う。鉛直方向の振動に対しては、三輪、米川^{文4)}のランダム振動と正弦波振動の振動感覚の評価方法についての研究があるが、このような長周期水平振動に関してはどのような量が振動知覚に対応するのかは明確でない。ここでは、被験者が振動の有無を知覚してからスイッチのON、OFFを行うまで、何等かの確認や判断をしているものと考え、スイッチがON（振動を知覚）された時刻から2波前と5波前までさかのぼった範囲での最大加速度（PEAK値）と2乗平均の平方根（RMS値）を知覚閾に対応させることにした。従って、これまでに行われた知覚閾試験のUPに相当するものとする。このPEAK値とRMS値は試験波の入力波形により算出した。ちなみに、PEAK値とRMS値の比は、

2波前までの場合が1.4, 5波前までの場合が1.6であった。

4.3 応答波知覚閾試験結果

結果を図6(a)~(d)に示す。各被験者は1回のテストで何回も感じており、対応する知覚閾はそれぞれ異なるわけであるが、各被験者の平均の値をプロットしている。なお、0.5 Hz および 1.0 Hz の左に RMS 値を、右に PEAK 値を示した。図から分かるように、0.5 Hz よりも 1.0 Hz の方が知覚閾が高く、第2章、第3章で示した正弦波知覚閾の結果と異なっている。以上の2振動数に関する試験結果から明らかにされた点は以下のとおりである。

- (1) 順方向の場合、振動数の増加によって知覚閾が増加する傾向がみられたが、直角方向の場合は周波数による知覚閾の変化は小さい。
- (2) 2波前までおよび5波前までと、PEAK 値と RMS 値を評価する時間を変えたが、両者の結果に大きな差は見られない。

今回は2波および5波前までの PEAK 値と RMS 値を考えたが、知覚閾に対応させる量として何が適切かという検討を含めて、より広い振動数範囲での調査が必要であろう。

第5章 使用限界状態設計法への応用

5.1 はじめに

耐震設計においては、昭和56年の建築基準法および施行令改訂以降、保有耐力に対する認識が高まり、従来の許容応力度設計の不備を補う意味で保有耐力設計が一般的になりつつある。保有耐力の検討によって、建築構造物の崩壊に対する安全性が確認されることになるが、構造性能条件は単に崩壊に対する安全性のみでないため、地震に対する従来の短期許容応力度設計も並行して行われている。構造設計の目的からすれば、いくつかの想定される構造上の限界状態に対して十分な性能を確保することが望ましい。その意味では、保有耐力設計が崩壊に対する安全性を確認するものであるとすれば、短期許容応力度設計は、使用性や機能性に対する限界状態をはっきり定義してその性能を確認するという形に整備して行くことが望ましい。

一方、耐風設計にあっては、安全性の確認は従来からの短期許容応力度設計に委ねられている。地震と異なり、塑性変形に期待することが必ずしも合理的と言いきれないため、崩壊に対する安全性は許容応力度設計で保証されているとみなせるようである。しかし、変形に対する性能条件は、必ずしも現在の許容応力度設計では満足で

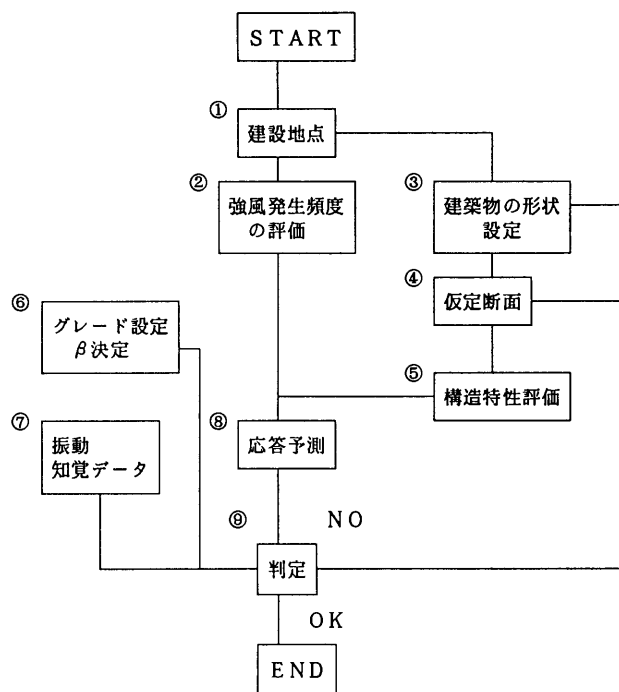


図7 強風振動に対する使用限界状態設計のフロー

きない。すなわち、比較的頻度の高い強風に対する振動障害の問題である。本章では、実験により得られた振動知覚に関する統計的成果を、使用限界状態設計という枠組みのなかで、実際の設計に適用する手法を提案する。

5.2 耐風設計における使用限界状態設計法の提案

限界状態としては、ここでは振動知覚閾を考え、基準期間としては1年間を設定する。従って、設計条件としては、次式で与えることができる。

$$\text{Prob. } [A > P] < \Phi(-\beta) \quad (1)$$

ここで、Aは、期間内における強風応答の最大値（加速度の等価最大振幅で表示）、Pは実験に基づく振動知覚閾値、 $\Phi(\cdot)$ は標準正規分布関数、 β は信頼性指標である。振動知覚の閾値は、正弦波加速度振幅の形で考える。強風時の応答は、第4章の結果に基づいて、加速度応答の標準偏差値と同等な振動知覚を与える正弦波加速度振幅に換算し、等価最大振幅として評価する。AもPも共に確率的に求められ、 β が性能条件として与えられているならば、設計は(1)式を満足するような構造特性を求めることに帰着する。具体的な計算手順は図7に示した。

以下に具体的設計例を示す。

- ①建設地点：東京近郊、地表面粗度区分Ⅲ⁵⁾
- ②強風発生頻度の評価：基準風速（標準粗度区分における地上10 mの50年再現期待値風速） $V_0=35 \text{ m/s}$ ⁵⁾、年最大風速の変動係数 $=0.21$ ⁶⁾、年最大風速の平均値 $V_{an}=22.4 \text{ m/s}$ ($V_{an}/V_0=0.64$ ⁶⁾より)
- ③建築物の形状：高さ $H=120 \text{ m}$ 、幅 $B=40 \text{ m}$ 、奥行き $D=40 \text{ m}$ （矩形の鉄骨・鉄筋コンクリート造住居棟を

想定)

- ④, ⑤仮定断面と構造特性評価：一次固有振動数 $f_0 = 0.5 \text{ Hz}$, 減衰定数 $h = 0.01$, 平均密度 $\rho_B = 300 \text{ kg/m}^3$
 ⑥グレードの設定 (β の決定) : $\beta = 2.0$

居住者の年間振動知覚確率をどの程度に設定したら良いかは, 単に構造工学的判断のみから可能となるものでなく, 過去の経験, 社会通念などによるところが大きい。ここでは, 仮に $\beta = 2.0$ (超過確率 2% に対応) を採用した。

- ⑦振動知覚データ：平均値 $\bar{P} = 2.5 \text{ gal}$, 変動係数 $\sigma_P / \bar{P} = 50\%$ の対数正規分布

今回の実験結果のうち $f = 0.5 \text{ Hz}$ における座位正弦波, UP, 順方向と直角方向の平均を(1)式の変数 P とみなす。

- ⑧建物応答予測：等価最大加速度振幅 A

$$A = 0.8 \times \left(\frac{V_H}{f_0 \sqrt{BD}} \right)^{3.3} f_0^2 \sqrt{BD} \frac{\rho_A}{\rho_B \sqrt{h}} \quad (2)$$

ここで, V_H は建築物頂部風速, ρ_A は空気密度 (1.23 kg/m^3) である。

高層建築物の振動は一般に風向直角方向が大きく, 建物の構造特性によってはねじれ振動も考慮する必要がある⁷⁾。応答予測に当たっては, 状況に応じて風洞実験などの適切な予測手法を適用すべきである。ここでは, Canada 規準⁸⁾の風直角方向応答加速度 (標準偏差) の予測式を用いることにした。ただし, 過大評価傾向があるという指摘⁹⁾を考慮して 60% 程度に補正し, さらに応答の標準偏差から(1)式における等価最大振幅に換算するための係数 (2.0 と仮定) を乗じたものが(2)式である。

V_H として年最大風速の平均値を用いることにすると,

$$V_H = 0.80 \left(\frac{H}{10} \right)^{0.2} \times V_{an} = 29.5 \text{ m/s}$$

であるから, 等価最大加速度振幅 A の年平均値は,

$$\bar{A} = 0.8 \times \left(\frac{29.5}{0.5 \times 40} \right)^{3.3} \times 0.5^2 \times 40 \times \frac{1.23}{300 \sqrt{0.01}}$$

となる。予測された応答加速度 A の変動係数 σ_A / \bar{A} は, 風速の変動係数 0.21 から,

$$\sigma_A / \bar{A} = 0.45$$

とし¹⁰⁾, A の確率分布も対数正規分布に従うものとする¹¹⁾。

- ⑨判定：

P, A ともに独立な対数正規分布と考えられるので, 各々の対数平均値および対数標準偏差を求めて,

$$\ln \bar{P} = \ln \bar{P} - \frac{1}{2} \zeta_P^2 = 0.806$$

$$\zeta_P = \left[\ln \left\{ 1 + \left(\frac{\sigma_P}{\bar{P}} \right)^2 \right\} \right]^{1/2} = 0.47$$

$$\ln \bar{A} = \ln \bar{A} - \frac{1}{2} \zeta_A^2 = 0.073$$

$$\zeta_A = \left[\ln \left\{ 1 + \left(\frac{\sigma_A}{\bar{A}} \right)^2 \right\} \right]^{1/2} = 0.43$$

$$\begin{aligned} \therefore \beta &= \frac{\ln \bar{P} - \ln \bar{A}}{\sqrt{\zeta_P^2 + \zeta_A^2}} \\ &= \frac{0.806 - 0.073}{\sqrt{0.47^2 + 0.43^2}} = 1.15 < 2.0 \quad \text{N.G.} \end{aligned}$$

所定のグレードを達成できていないので, ④項に戻り, 構造物重量を増し, かつ剛性, 減衰も増加させて, $f_0 = 0.6 \text{ Hz}$, $h = 0.02$, $\rho_B = 350 \text{ kg/m}^3$ と変更できたとすると, $\bar{A} = 0.56 \text{ gal}$, $\bar{P} = 2.1 \text{ gal}$ が得られる。 A や P の変動係数は同程度と考えると,

$$\beta = \frac{0.631 + 0.662}{0.637} = 2.03 > 2.0 \quad \text{O.K.}$$

となり, 設定した使用性のグレードを満足していることが信頼性指標を通して確認された。

5. 3 耐震設計における使用限界状態設計法への展望

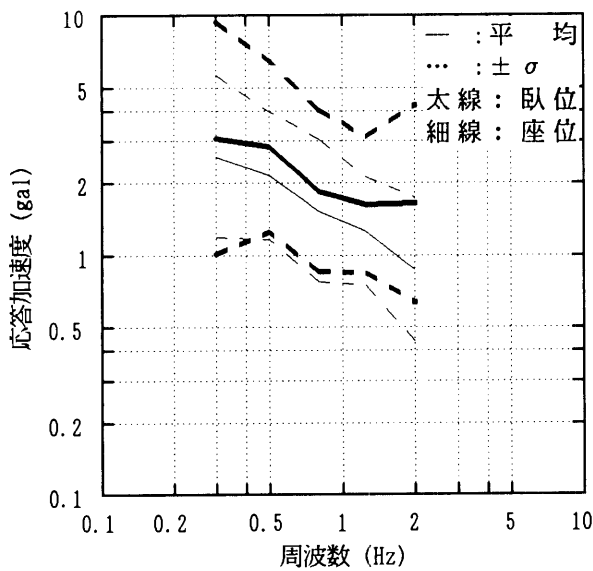
比較的低層の住宅で免震構造による耐震性向上が試みられるようになると, その構造性能として, 振動知覚頻度の低減ということが, 耐震設計においても直接の設計対象となりうる。現に, 中小地震時において, 顕著な振動抑制が認められると, 耐震設計における使用限界状態設計を, 耐風設計の場合と同様な形で展開することが可能である。基本的なフローとしては, 図 7 に共通であるが以下の点については検討を異にする。つまり, 『②強風発生頻度』は地震動発生頻度に置き換える。年最大地震動の場合, その変動係数は一般に 100% を超えるばらつきの大きなものとなっており¹²⁾, また統計データの精度についても, 地盤の増幅特性を含めて高精度を期待するのは難しい。『⑧応答予測』については, 時刻歴応答を前提とした確定的予測となり, 最大値で評価される。強風振動の場合と同様に等価な正弦波振幅に換算する必要があるが, 非定常性の強いものであり, 換算係数を求めるにはさらに追加検討が必要となろう。

第 6 章 総括

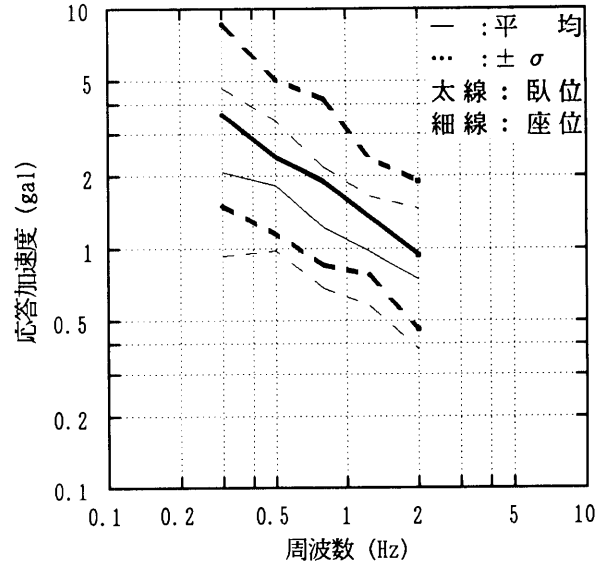
6. 1 正弦波知覚閾試験における座位と臥位の比較

座位と臥位の正弦波知覚閾の比較を図 8 (a)~(d) に示す。実線が各周波数毎の平均値であり, 破線が平均値土標準偏差である。いずれも太線が臥位であり, 細線が座位である。これらを比較して分かることは次のとおりである。

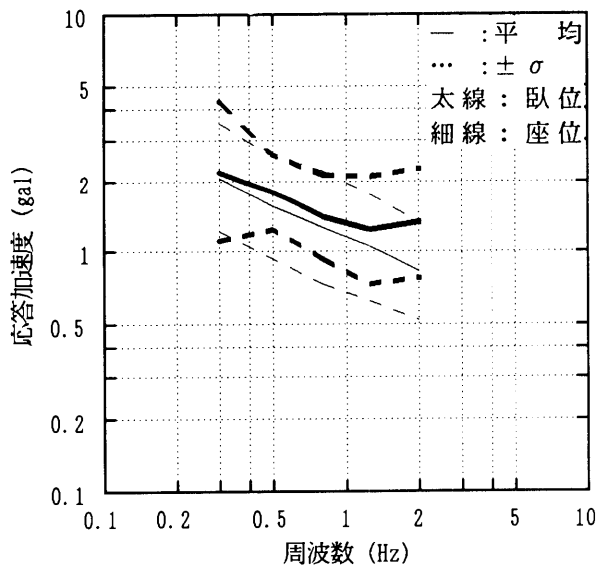
- (1) 試験を行った $0.333 \text{ Hz} \sim 2 \text{ Hz}$ の範囲では, 周波数が高くなるとより敏感になるという点では, 座位, 臥位ともに同様の傾向がみられた。
- (2) 周波数, 振動の方向, UP・DOWN に関わらず, 臥



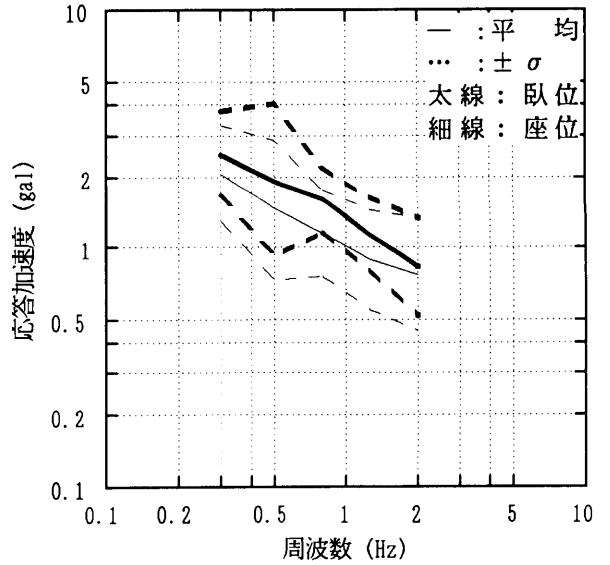
(a) 順方向 UP



(b) 直角方向 UP



(c) 順方向 DOWN



(d) 直角方向 DOWN

図8 座位と臥位の正弦波知覚閾の比較

位の方が座位よりも振動を知覚しにくく、両者の知覚閾の差はUPの方がDOWNよりもやや大きい。

- (3) 順方向の場合は高周波数側で振動を感じにくくなる傾向があり、座位との差が大きい。

臥位の方が振動を感じにくいのは、寝台に体全体が接触していて、座位の場合よりも応答を拘束されている度合いが大きいためであろう。高周波数側で順方向の臥位が座位に比べてかなり振動を感じにくくなるのは、頭部の拘束のせいであると考えられる。

6.2 座位における正弦波とランダム応答波の比較

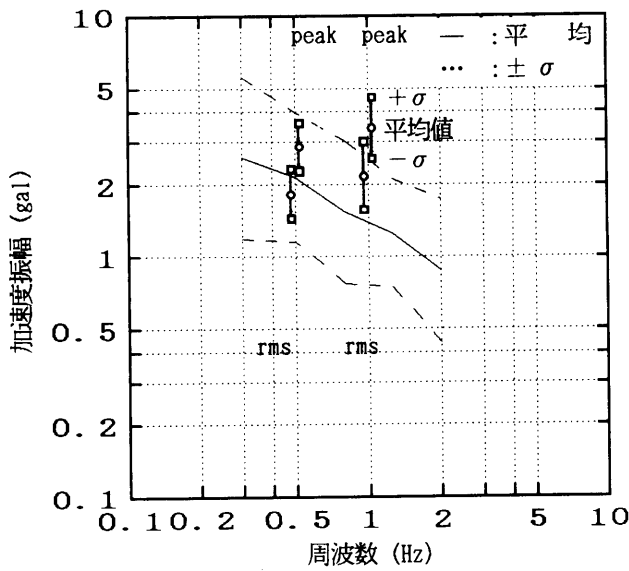
正弦波(0.333 Hz, 0.5 Hz, 0.8 Hz, 1.25 Hz, 2.0 Hz)とランダム応答波(0.5 Hz, 1.0 Hz)の比較を図9に示

す。これらを比較して分かることは次のとおりである。

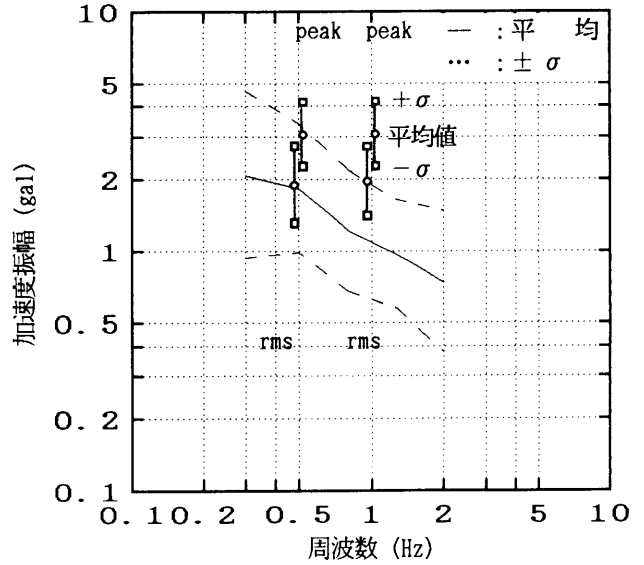
- (1) ランダム応答波の場合は、正弦波試験で見られた周波数増加に伴う知覚閾の低下はなく、ほぼ一定もしくは周波数とともに増加の傾向が見られる。
- (2) 被験者が振動を知覚した時から、2波および5波前までさかのぼった評価時間でのPEAK値とRMS値を知覚閾に対応させたが、評価時間の違いによる差はあまり顕著ではない。

6.3 超高層住宅の強風時の使用限界状態設計に関する展望

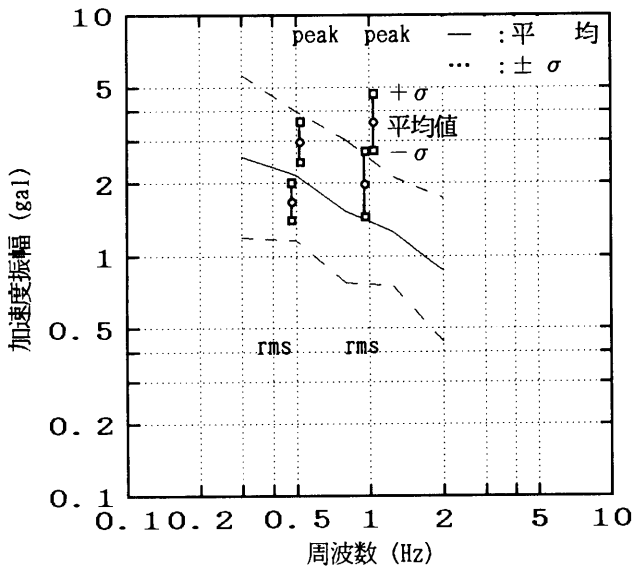
日本建築センターにおいて評定された超高層住宅の例を見ると、わが国での超高層住宅は軒高60m~90m、1



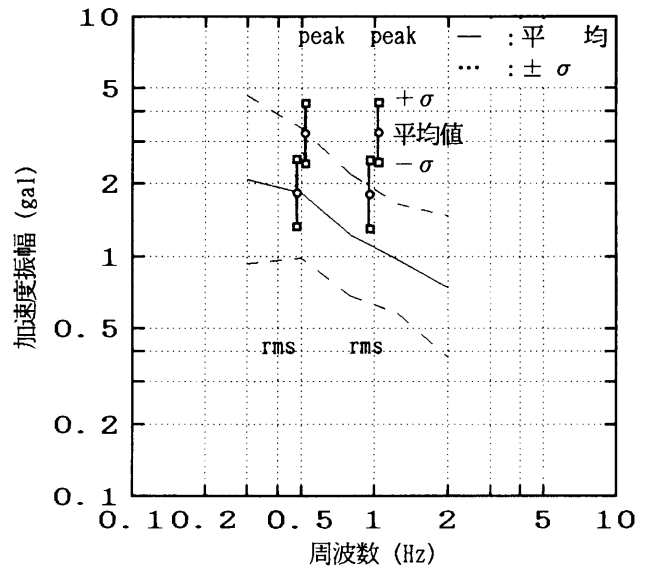
(a) 順方向 2波



(b) 直角方向 2波



(c) 順方向 5波



(d) 直角方向 5波

図9 座位における、正弦波とランダム応答波の知覚閾の比較

次固有周期1.2秒~1.8秒が実状である。しかし、ますます高密度化する市街地は、より高層化した住宅への需要を増す傾向にある。東京の場合でも、建物高さが100 mを超え、固有周期が2秒を超えるようになると、年間の振動知覚確率を2%程度以下におさえることが難しくなってくる。もちろん沖縄、九州南部のような強風の発生頻度の高い地域では、より低くより短周期の建物でも、同じ振動知覚確率となる。十分な耐震設計により、従来のわが国の中・高層住宅はきわめて高い耐風性能が結果的に確保されている。このため、もし超高層住宅において振動を知覚するようなことがあると、直ちに不安感につながる可能性がある。従って、現時点では強風時の使用性能として振動の知覚し易さを指標として考えておく必

要があろう。

調査研究(1)^{*1)}でも概観したごとく、これまでも多くの振動限度基準が提案されている。しかし、いずれも振動加速度レベルに対して許容するか、しないかという形で表現されており、社会通念や国情などで著しく変化の予想される居住性の問題にとっては、不十分であると言わざるを得ない。

第5章の例題では、年間の振動知覚に対し、仮に $\beta=2$ のレベル(振動知覚確率2%程度)を設定した。今日存在している超高層住宅では十分に実現可能なレベルであるが、建物高さが200 mクラスのものと考えればかなり困難であろう。しかし、振動知覚レベルは1 gal~数 gal程度であり、構造物損傷レベルは100 gal~数100 galを超

えるものであることを考えると、振動知覚レベルとして、 $\beta = 1$ あるいはそれ以下に設定することも必ずしも不自然とは言えない。人間は振動に対してかなりの順応性を有している点や、生理的異常現象についても個人差がある点を考えると、一律に振動レベルがある値を超えるものは許容しないというような基準は、他の種々の利点を犠牲にすることにもなり、極力避けるべきであろう。

第5章では、振動知覚を考慮した使用性評価の指標として、年間振動知覚確率に対応する信頼性指標 β を用いることを提案し、その具体的な運用の可能性を示したが、今後さらにその有効性を検討して行く必要性が痛感される。

6. 4 今後の課題

長周期水平振動に関する既往の研究成果を概観した上で、超高層住宅の振動感覚評価についての問題点を抽出し、これらのいくつかの問題点について、主として実験を通して貴重な成果を得た。以下には、特に今後の超高層住宅の具体的な設計条件設定の立場から、さらに解決することが望ましいと考えられる項目を記す。

- (1) 強風応答、強震応答と正弦波応答との振動知覚に関する比較。特に、応答波形のスペクトル特性、非定常性に対するの評価。
- (2) 本研究で明らかとなった振動知覚分布のより長周期領域における性状の解明。
- (3) 振動知覚指標の適応性の具体的計算例を通じた幅広い検討と、既住の確定的な限度基準の統一的な位置付け。
- (4) 高層建物の振動感覚に関する設計クライテリアのための、一般的な強風応答評価手法の確立。

〈謝辞〉

本研究は関係各位のご理解とご協力を得て実現することができました。特に、被験者になっていただきました方には、長時間の拘束にもかかわらず、最後までご協力をいただきました。ここに記して厚く御礼申し上げます。

〈参考文献〉

- 1) 超高層住宅振動限度委員会 (代表 神田順), 超高層住宅の長周期振動に対する振動感覚の調査研究(1)(梗概), 財団法人新住宅普及会, 住宅建築研究所報, 1987, pp. 381-391
- 2) 佐々木桂子, 西村恵子, “超高層住宅の長周期水平振動に対する振動感覚の調査”, 東京工芸大学工学部卒業論文, 1989-2
- 3) 草加俊資, “超高層住宅の強風振動知覚に関する実験的研究”, 東京大学工学部卒業論文, 1989-2
- 4) 三輪俊輔, 米川善晴, “複合正弦振動とランダム振動の評価法”, 日本音響学会誌, Vol. 27, No. 1, 1971
- 5) 日本建築学会建築物荷重指針 (1981)

- 6) 日本建築学会構造委員会鋼構造分科会, “鋼構造荷重・耐力係数設計法試案”, 昭和61年3月
- 7) A. Tallin ml and B. Ellingwood, “Wind-induced motion of tall buildings”, Engineering Structures, Vol. 7, 1985, pp. 245-252
- 8) National Building Code of Canada 1977
- 9) P. A. Irwin, “Wind induced motions of buildings”, Proc. Sympo./Work-shop Serviceability of Buildings Vol. I, 1988, pp. 200-213
- 10) 神田 順, “動的応答を考慮した風荷重の確率統計的評価”, 第7回風工学シンポジウム, pp. 179-186
- 11) 春原浩樹, 神田 順, “年最大風荷重値の確率分布に関する一考察”, 日本建築学会大会梗概集, 構造, 昭和60年, pp. 675-676
- 12) 壇 一男, 神田 順, “上下限値を有する極値分布を用いた地震危険度解析”, 日本建築学会論文報告集, 第363号, 昭和61年5月, pp. 50-56

〈研究組織〉

主査	神田 順	東京大学助教授
委員	田村幸雄	東京工芸大学助教授
	佐野行雄	住宅都市整備公団主任研究員
	藤井邦雄	清水建設技術研究所環境技術部長
	崔 恒	東京大学大学院生
	田村哲郎	大崎総合研究所研究員
	大築民夫	清水建設技術研究所研究員
協力	草加俊資	東京大学・学生
	佐々木桂子	東京工芸大学・学生
	西村恵子	東京工芸大学・学生