

居住性能評価指針改定と環境振動性能設計ハンドブック

日本女子大学 石川 孝重

1. はじめに

近年の建築界・社会の動向は、消費者・ユーザーの選択（自己）責任を求める時代に移行している。そのような社会的潮流の中で、環境振動にかかわる居住性能を確保するために、専門家は設計をいかに考え、そのなかで建築主とのかかわりをどのようにはかるべきか。本報では、現在の性能設計の枠組みや設計体系に、環境振動にかかわる性能を根付かせることを念頭におきながら行った、2004年の「建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説」（居住性能評価指針）¹⁾の改定とその経緯、さらには2010年に刊行した「環境振動性能設計ハンドブック」²⁾について述べる。

2. 設計者・技術者の初版「居住性能評価指針」³⁾に関するアンケート調査

当時の環境振動小委員会（現、環境振動運営委員会）では、2000年度に居住性能評価指針改定WG（主査：石川）を組織し、本指針の見直し作業を行った。改定に際して設計評価実務に使いやすい指針にしたいと考え、設計者・技術者の本指針に対する意見や問題点を把握するために、居住性能評価（鉛直・水平）検討SWGを中心に1998年にアンケート調査を行った。結果の概要は学会大会などで報告した^{4~6)}が、鉛直振動に関しては51名、水平振動に関しては49名の設計者・技術者から回答があった。

アンケート結果をみると、初版居住性能評価指針では、人間の動作による床振動と風による建築物の振動を対象としているが、実務では評価対象となる振動範囲や加振源が広がっており、それをカバーし切れなくなっていることが浮かび上がってきた。

たとえば、水平振動に対しては、**図1**のように交通や設備による振動を評価対象に含めてほしいという意見が多かった。居住性能評価指針の使いやすさについては、**図2**のようにどちらともいえないという意見が多く、「基準レベルの曲線は直線で表現されていて良いが、振動種別、ランクなどの説明があいまいでわかりにくい」などといった理由とも関

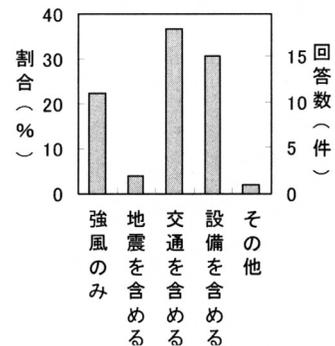
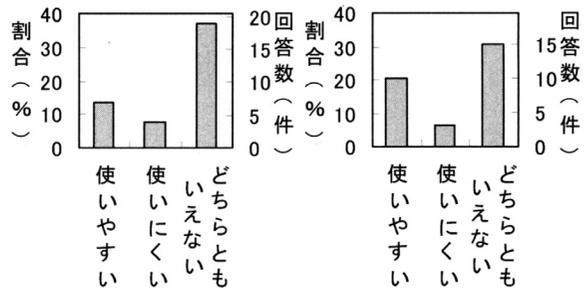


図1 水平振動の評価対象に含める振動



a) 鉛直振動の場合 b) 水平振動の場合

図2 居住性能評価指針の使いやすさ

連があろう。

他方では、第一線で実務に携わる設計者・技術者は、施主、建築主などのユーザーに性能を説明するための資料を求めており、居住性能評価指針における評価曲線では、そのレベルにおけるユーザーの状況を明確に説明できないため、納得を得ることが難しいといった声が聞かれた。そのような状況のなかで、ユーザーに説明するためには、**図3**のように「〇%の居住者が揺れを感じる」といった確率的な表現などの新しい概念にも積極的姿勢をもっていることがわかった。

また、学会が提示する指針として規定が必要と考えられる範囲について自由な意見を聞いたところ、規定は現状程度、評価レベルまででよいという意見がある一方、加振外力の評価、応答予測の方法までの記述はほしいという意見も目立った。規定はせず、参考資料として提示するなど、公表の形式は様々考えられるが、実測や応答予測から評価レベルへの照合まで、居住性能評価の一連の流れに関して、何らかのかたちで記述を望む声が多い。

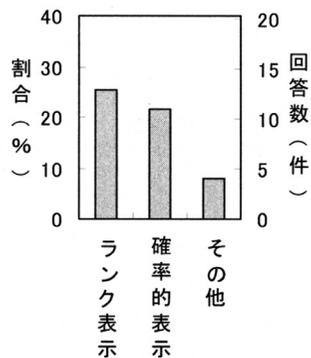


図3 性能設計に対応するための性能表示
(鉛直振動の場合)

3. 性能設計の枠組みにおける居住性能の位置づけ

このような設計者・技術者の意識は、建築基準法の改正や品確法の施行などとともに実務に根付きつつある性能設計を背景とするものにほかならない。

性能設計の実現フローを**図4**のようにまとめてみた。このような性能設計の枠組みでは、**図5**に示すように、建築物に付与する性能の最終決定責任者は建築主などのユーザーである。ユーザーが自身の要求に即した合理的な性能レベルを決定するためには、専門家、なかでも設計者が情報開示を行い、十分に説明責任を果たすことが求められる。

建築物に付与する性能のなかで、構造安定（安全）

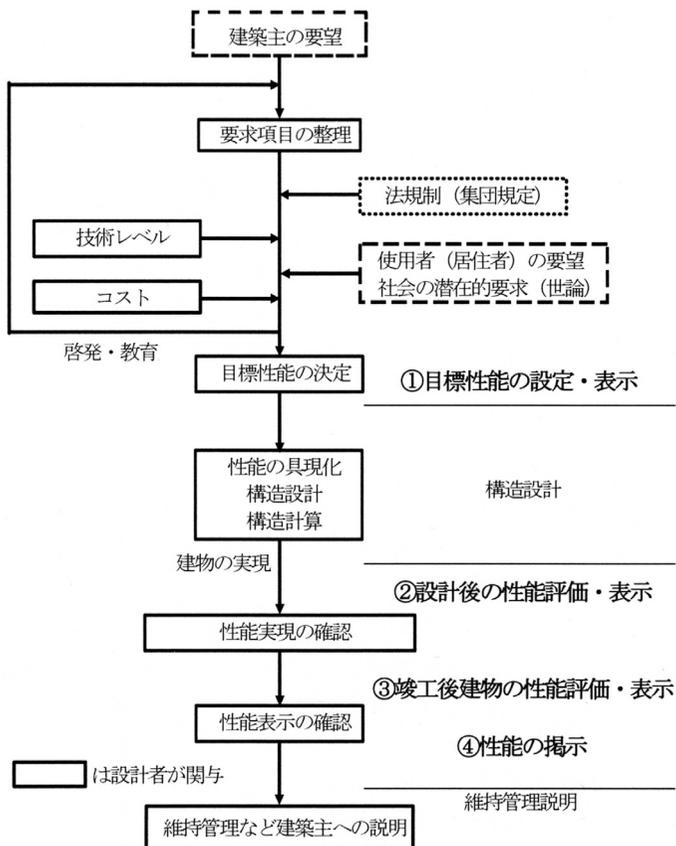
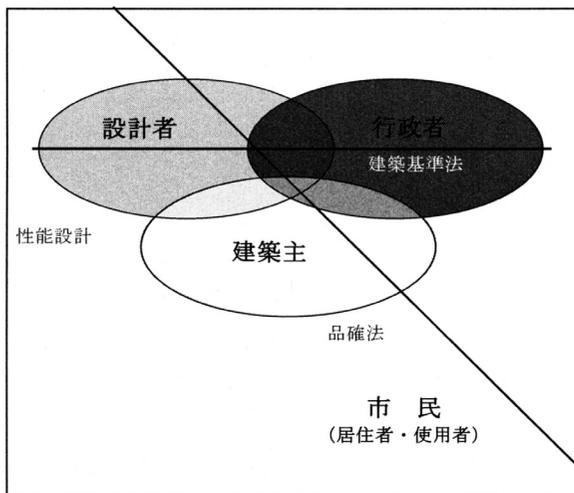


図4 性能設計の実現フロー



注：横線は従来の安全性レベルの決定主体，斜線は今後のレベル決定主体を示す

図5 建築にかかわる意思決定主体

性能はまず確保する必要がある。しかし、往々にしてこの元となる地震外乱の再現期間はあまりに長い。ユーザーにとって、一生の間で遭遇しないかもしれない何百年、千年に1回の地震について判断を求められても実感がともなわない。彼らにとっては、使い勝手としての間取り、日々の日照、近隣からの騒音、前面道路の交通による振動など、日常的な性能の方が関心ごとであり、具体的な要求としてまとめやすい。

このようなユーザーの意識的側面をふまえると、再現期間の長い耐震性能を前面にだす従来型の設計に拘ることなく、再現期間が短く、ユー

ザーが日常で感じられる居住性能や使用性能に立脚した設計体系を新たに構築し推進することも考えられる。居住性能や使用性能ではもともと剛性確保を目的としたものも多く、そのなかで耐震性能を満足する設計システムを構築することはそれほど難しくない。これにより、ユーザーに身近な性能が要求指標となり、ユーザー理解が促進される。

近年、ユーザーに理解が得られないものの社会的存続は危うい。建築も例外ではなく、社会的認知があってはじめて、建築が社会基盤に立脚した揺るがないものとなる。結果として、耐震安全性の向上や、性能レベルと建築価格との適正化にも寄与するものと考えられる。

4. わかりやすい性能説明と説明責任

医療の現場ではインフォームドコンセントがすでに基本理念となっており、工業界ではPL法による製造物責任は自明のものとなっている。我々建築に携わる技術者も例外とはなり得ない。

建築物はオーナー・ユーザーの財産であり、生命をかけてユーザーが自己責任を負うものであるなら、医療と同様に設計者・技術者は職能としての責任を問われることになる。逆の言い方をすれば、技術者がこの社会的潮流に積極的に参画していくことで、ユーザーの責任感覚を助長し、建築への投資が促進され、良質な建築ストックの形成が期待できる。

そのためには、ユーザーとのコミュニケーションが不可欠である。大半のユーザーは建築物の性能、ましてや環境振動にかかわる居住性能について専門的な知識は薄い。彼らの要求が語られたとしても日常的な言葉で性能を表現する。環境振動にかかわる性能でいえば、ユーザーはトラックが前を通ると揺れる、揺れて気持ち悪いなどと表現する。これらを設計指標の振動数や加速度などの物理量とどうとりあわせるのか、この両者のギャップをどう埋めて設計条件に足りうるものとするのか、これが設計者・技術者の直面する課題である。

いわゆる素人であるユーザーが自分たちの要求に即した性能レベルを手に入れるために、ユーザーが実感できるようにわかりやすく設計者・技術者が性能を説明しなければならない。そのための方法やノウハウ作りが急がれる。

一方で、意匠デザイナーとのコミュニケーションも重要である。まずデザイナーに理解してもらえないようでは、ユーザーとの距離はさらに遠い。デザイナーに対する居住性能の理解は環境振動にかかわる居住性能を設計の枠組みの中に根付かせることにつながると考えられる。

このようなユーザーに実感しやすい性能レベルの表現として、筆者らは、知覚閾だけでなく、不快感などの心理評価も含めて多角的に居住性能レベルを説明する資料^{7) 8)}を提示している。

5. 居住性能評価指針の2004年版改定ポイント

このようなパラダイムシフトのなかで、設計者・技術者に求められる役割と責任は大きい。2004年版の居住性能評価指針の改定では、実務者にとって有益な指針にしたいと考えた。アンケートで多くの要望があった交通振動など、対象とする加振源の種類を広げべく、床振動評価SWG（主査：塩谷）、風振動評価SWG（主査：中村）、交通振動評価SWG（主査：石川）の3つのSWGを組織して、改定作業を行った。

床振動評価SWGでは、主に人間の動作による床スラブの鉛直振動を対象とし、風振動評価SWGでは風による建築物の水平振動を対象とする。風振動の評価においては、超高層・高層建物を想定したこれまでの1Hz以下に加え、より規模の小さい建物を想定して高振動数範囲まで対象を広げることとした。

これらの加振源に対しては、初版の居住性能評価指針でも評価曲線が示されているが、これらは従来基盤とされてきた体感による知覚閾に基づいて提示されている。一方、近年の実験結果では、**図6**に示すように高層建物に風振動が生じる低振動数範囲では、特に視覚による振動の認識の影響が大きく、体感による知覚閾より敏感に振動を知覚することがわかっていく。⁷⁾改定に際しては、このような視覚による影響も考慮した資料を性能レベルの説明資料の一つとして付録に載録した。

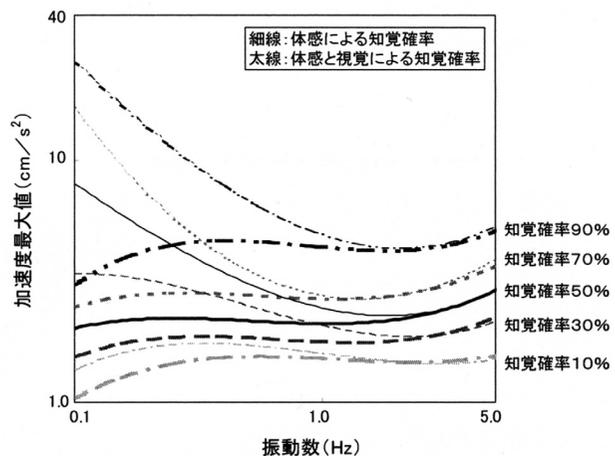


図6 視覚と体感による知覚閾¹⁾

また、先で述べたアンケートで評価対象として加えて欲しいという要望の多かった、道路交通や鉄道による交通振動の評価を新たに章立てした。交通振動の評価は、これまで公害振動に位置づけられ振動規制法によるところが大きかった。これまで、交通振動では敷地境界における鉛直方向の振動レベルとして扱われてきたが、近年では3階建てのプレハブ住宅などにおいて、水平方向の振動が卓越する事例が増えてきた。このような状況をふ

まえつつ、建物内で人体に入力される振動に基づいた居住性能評価をどこまで提示できるかについて検討した。

図7に示すように、特に中低層建物で問題となる交通振動が生じる2~4Hz程度の振動数は、体感による知覚閾がもっとも厳しい範囲である。このような感覚における振動数特性をふまえながら、図に示したような個人差を内包した知覚閾のばらつきを、性能レベルの説明として反映した。

その他の具体的な改定ポイントとしては、提示された評価曲線に対応するグレード表現が容易にできるような感覚特性を提示し、それぞれの性能レベルとユーザーのおかれる状況がどのような対応になるかを説明できる資料を提示した。これまで評価の基盤とされてきた知覚閾だけでなく、心理評価なども含めて、ユーザーの表現に近いかたちで性能レベルを説明できるような資料である。

例えば水平振動に対しては、体感および体感と視覚による知覚閾を基盤として、それぞれに1パーセント値から99パーセント値までのばらつきを表現した評価レベルを示した図8は、各評価レベルの振動に対して、何%の人がどのような心理評価であるのかを表したグラフである。図の例は水平振動に対する性能レベルの0.4Hzの場合である。「まったく不快でない」や「とても小さい」などの言葉を用いた評価尺度の回答確率の分布を、図7の評価レベルと対応させて示している。図7のような振動数と加速度で表された評価レベルでは、ユーザーは各性能レベルにおいて自分たちがどのような状況におかれるのか実感することはできず、性能レベルを選択することが難しい。図8のように、感じる人の割合と心理評価を表現する言葉でこれらの評価レベルを説明することで、ユーザー自身による性能レベルの選択や、設計者・技術者のユーザーに対する性能説明の資料になると考えた。これにより、設計者・技術者の判断を重視し、個々の物件に対して、ユーザーの要求にある程度合致する性能レベルを自由に選択し、設計条件とすることができるものと考えている。

このような設計者・技術者の自由な裁量を増やす一方、実務設計で直接参考となるよう

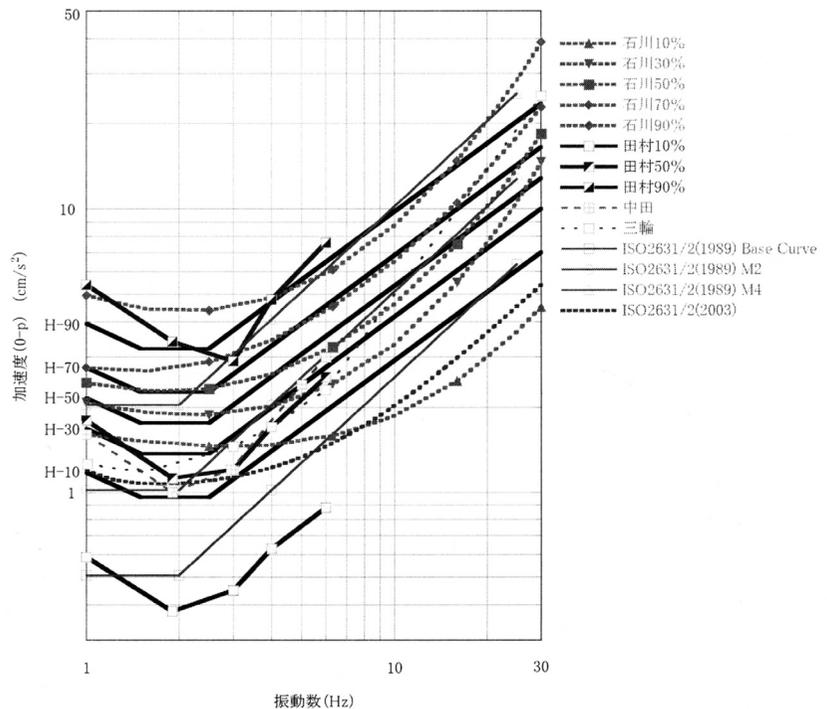


図7 体感による知覚閾のばらつきと性能評価曲線

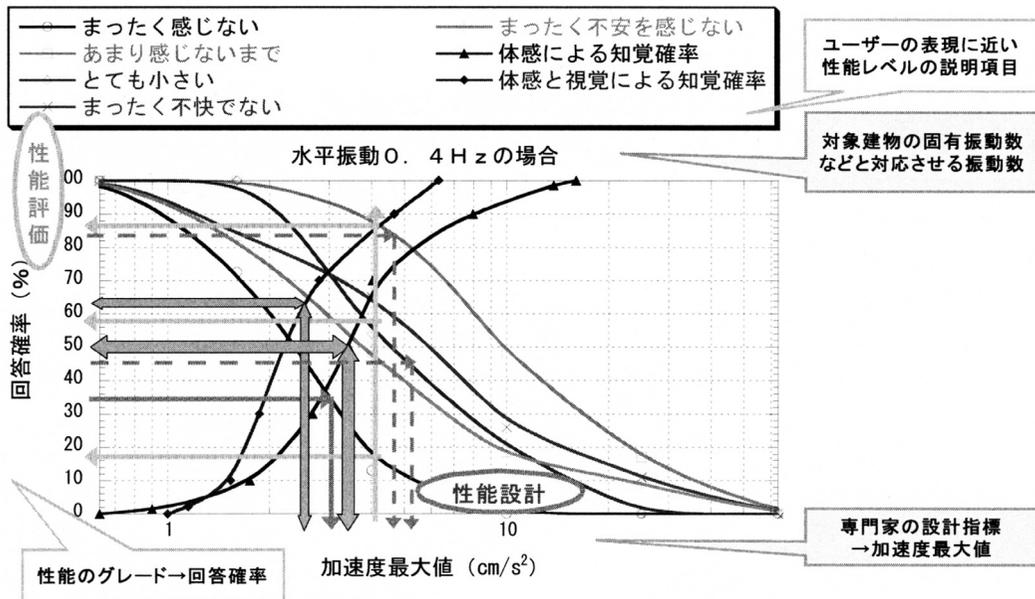


図8 水平振動に対する性能レベルの説明資料 (0.4Hz の場合)

な実測例や設計例をできるかぎり数多く付録として収めている。

6. 振動にかかわる居住性能評価と環境振動性能設計ハンドブック

日常的な歩行や道路交通・鉄道、風などによって生ずる振動は、ユーザーに身近な性能として取り上げることができ、かつその性能レベルを確保するには構造的な検討が不可欠である。居住者の居住性能に対する要求はますますそのレベルが高くなってきており、地震時の居住性についても今後考慮する必要がでてくる可能性も否定できない。

2004年改定版居住性能評価指針では、要求性能レベルの設定を個々の物件ごとに設計者が建築主の意向を踏まえて決定することとした。先にも述べたように、性能設計において最初のもっとも重要なステップは、目標性能レベルの決定にある。設計者が性能レベルを決定できるような資料の提示や建築主などの市民レベルがわかりやすく理解できるような資料が必要になる。

そのための方策として改定版居住性能評価指針では、評価曲線を知覚確率と対応させ、「〇%程度の人が感ずる可能性がある」というようにどの程度の振動が暴露されるのかをわかりやすく表現した。また、同指針の付録では、より多角的な性能説明資料の一例として、発生する振動の振動数・加速度で、どの位の人がどの程度の感覚を生ずるのかを読みとれる資料を示している。ひとつの取り組み例ではあるが、この資料を用いることで、建物に生じている振動によって居住者がどのような状況になるかを、具体的に説明することができる。

これらの資料の活用などからユーザーの要望を引き出し、建築物の振動に対する要求性能レベルをもとに目標性能を設定するプロセスが、性能設計では極めて重要になる。建物や住宅が竣工した後、振動によって何らかの支障が生じた場合、躯体などの剛性を高める方法で後追い対策しても大きな効果は望めない。さらに、制振装置などの設置にはまだかなりのコストがかかる。振動性能を確保するためには、竣工後の改善にすぎるとは、設計時点での地盤や躯体

に対する検討がきわめて効果的である。設計における要求性能の決定時点で、設計者が積極的に建築主などに働きかけ、彼らの意識を啓発し、要求性能を引き出すことが重要である。

このような状況をふまえ、2007年度に環境振動運営委員会傘下に環境振動性能設計法小委員会（主査：石川）を設置し、主に企業の設計者を公募委員に迎え、「環境振動性能設計ハンドブック」²⁾の検討を開始した。活動当初から、耐震・耐風設計プロセスとの融合により環境振動性能設計を位置づけることに検討時間を割いた。その結果、設計フローに基づく一連の解説から設計ハンドブックをまとめることができた。

加振源の評価や、実測・応答解析の方法、結果の評価方法など、個々には、既刊の指針類に基づく内容も含まれるが、原書よりできるかぎり引用するなど、本書のみで設計行為がある程度まで完結できるように配慮するとともに、本書では建築主とのコミュニケーションにも重点をおき、目標性能設定における建築主と設計者の合意形成に資する資料をできるかぎり掲載することとした。性能設計の本来の主旨にたちかえれば、建築個々の目標性能の設定およびその実現手法は設計者個々の裁量にまかされているところが大きい。環境振動性能設計に関して、本書がその一助となるよう目次構成した。

7. 環境振動性能設計ハンドブック

ここでは、「環境振動性能設計ハンドブック」の設計ポイントについて紹介する。

実測あるいは応答解析による振動の物理量を、居住性能評価指針に照合することで、対象建物の環境振動に関する性能を、知覚確率、すなわち何%程度の人が振動を感ずるかという観点から説明することができる。これによって、建築主は、対象建物に発生する振動で居住者らがどのような状況におかれるか、彼らがどのような感じ方をしているかを知ることができる。しかしながらこれだけでは、その振動が、よい性能と評価されるのか、標準的のとらえられるのかなど、居住性能としての価値評価を明示することには至らない。

本書では、居住性能評価指針の性能評価曲線をもとに、環境振動に関する性能を4段階に等級分けすることを試みている。この4段階は設計者らのブレインストーミング⁸⁾より得られたものである。4段階のグレードのうちあえて下から2番目を標準のグレードとし、標準より低い性能のグレードを含めた設定とした。

このような性能グレードの枠組みを前提として、床の鉛直振動⁹⁾、建物の水平振動¹⁰⁾について、性能グレードのとらえ方などに関する意識調査と、居住環境において評価対象となり得る鉛直振動あるいは水平振動の体感実験を、同一の対象者に行うことで、建築主になり得る市民の意識を踏まえた性能グレードを提示している。

図9が床の鉛直振動に関する性能グレード、図10が建物の水平振動に関する性能グレードである。

床の鉛直振動を対象とした場合には、学校と比較して住宅のほうが、半ランク程度厳しい評価にあり、両者を区別している。一方、建物の水平振動を対象とした場合には、住宅と学校がほぼ同程度に評価されていたことから、両者に共通した性能グレードとしている。ここで、住宅と学校は、それぞれに想定した行為・作業や状況などを主な観点として区別している¹⁰⁾。これを踏まえると、学校に対する性能グレードは、一般的には事務所利用としての状況に相当すると考えることもできる。

各ランクは、居住性能評価指針の性能評価曲線と同様の形状にあてはめられており、そ

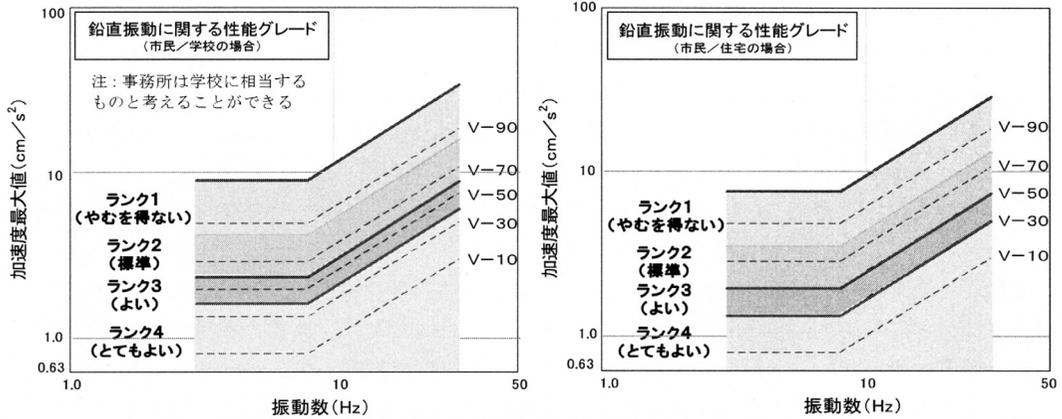


図9 床の鉛直振動に関する市民意識に基づく性能グレード⁷⁾

それぞれの境界は、表1の知覚確率と対応している。各ランクは、境界線の間にあたる幅をもった振動範囲となる。これらは、振動体感実験における性能ランクに関する累積回答確率 84.13% (正規分布の平均値 + 1σ に相当) をもとに評価している。その結果、各ランクに相当する振動は、約 80% 程度の人が、その振動を該当のランクより高い性能にあると評価していることを示す。

同時に行った意識調査^{9, 10)}では、現在の住まいの性能や自宅への要求性能を聞いている。したがって、回答者がこれらの性能グレードをどのようにとらえているかを知ることができる。そのなかで、図11は非木造マンション居住者が自宅に望む性能グレードに関する回答である。回答者の自宅の住宅形式によって若干違いはあるが、多くの人が標準より一段階上の性能グレードを自宅への要求性能としていることがわかる。この結果

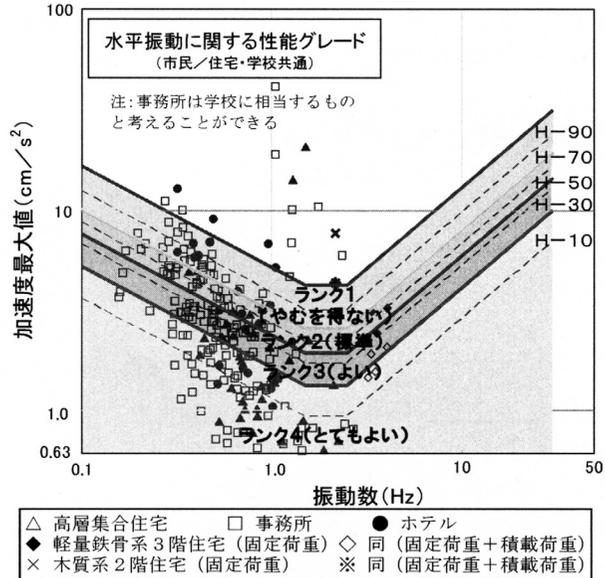


図10 建物水平振動に対する市民の意識に基づく性能グレード¹⁰⁾と風振動の評価例¹⁾



図11 市民の自宅への要求性能 (非木造居住者による)

を参照すると、図9および図10に提示した性能グレードとして、上記の性能グレードに相当するランク3が市民の多くが望むレベルということができ、市民を主体としたときの推奨レベルをランク3とみなすことができる。

表1 市民の意識に基づく性能グレードと加速度との対応

振動数(Hz)	床の鉛直振動の場合					建物の水平振動の場合				
	学校の場合		住宅の場合			学校・住宅の場合				
	知覚確率	$3 \leq f < 8$	$8 \leq f < 30$	知覚確率	$3 \leq f < 8$	$8 \leq f < 30$	知覚確率	$0.1 \leq f < 1.5$	$1.5 \leq f < 2.5$	$2.5 \leq f \leq 30$
	ランク4(とてもよい)									
ランク4と3の境界	40%	1.62	0.20f	30%	1.36	0.17f	30%	$1.67f^{-0.5}$	1.37	$0.658f^{0.8}$
	ランク3(よい)									
ランク3と2の境界	約60%	2.37	0.30f	50%	2.00	0.25f	60%	$2.43f^{-0.5}$	1.98	$0.952f^{0.8}$
	ランク2(標準・普通)									
ランク2と1の境界	約85%	4.27	0.54f	80%	3.59	0.45f	80%	$3.22f^{-0.5}$	2.63	$1.263f^{0.8}$
	ランク1(やむを得ない・許容できる)									
ランク1の限界	ほぼ全員	9.12	1.14f	約97%	7.67	0.96f	約97%	$5.29f^{-0.5}$	4.32	$2.077f^{0.8}$

居住性能評価指針を含む従来の研究では、知覚確率からのみとらえられていた環境振動性能に対して、この結果は、限られた研究ではあるものの、多くの人が標準的な性能としてとらえている振動がどの程度か、多くの人がよいと評価する振動はどの程度かなどの意味づけを与えている。対象建築に発生する環境振動の評価結果を建築主に対して説明する際だけでなく、目標性能の設定に際してもこれらの知見が活用できるものと考えている。もちろん、個々の建築の目標性能は、建築主の意向に沿って個別に決定されるものであるが、建築主の意思決定を支援することは大切であり、上記資料はその背景となる市民からとらえた居住性能の位置づけを与えるものになる。建築主との合意形成を得るためには、建築主への意識・啓発が大切であり、そのためには設計者の性能評価の一点がまた重要な要素になる。図12は、そのための参考資料として、構造設計者の観点からとらえた環境振動に関する性能グレードを示したもの¹¹⁾である。構造設計者に対して振動の体感実験と性能グレードに関するアンケートを同時に行ったうえで、彼ら自身の回答を提示しながらブレインストーミングを行うデルファイ法を用い、意見の集約を試みた。

これらの研究例については、今後、実際の設計への適用例やそのデータを用いた検証が必要であり、実務上では対象建物に応じた個々の設計者らの判断が求められるが、目標性能設定に際してこれらの資料の活用も考えられる。

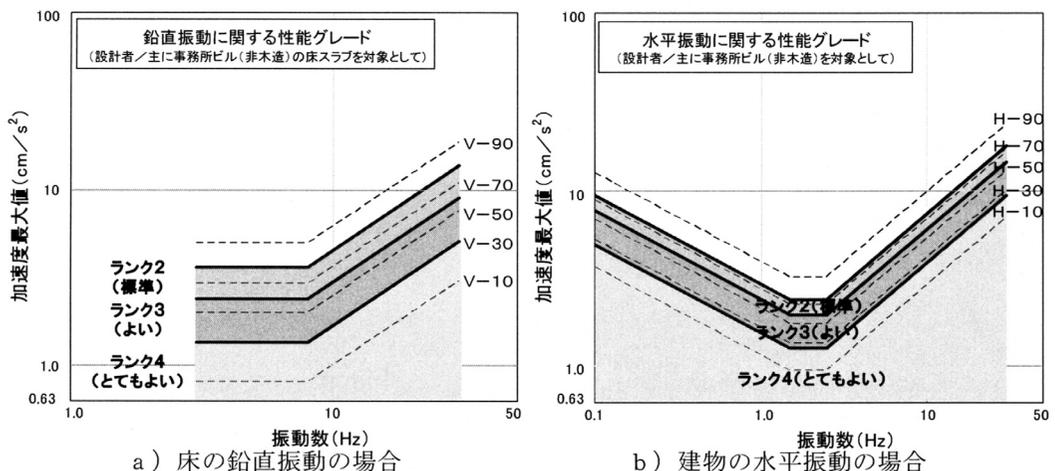


図12 設計者の観点による環境振動に関する性能グレード¹¹⁾

8. 社会と建築の融合に向けて

建築設計ではクライアントのために建物を作り上げていくのが本来の姿である。市民社会の到来を迎える現在、誰にも情報が公開され、それに基づいて評価がくだされる。建築設計のプロセスでも、これは例外ではない。市民ユーザー、設計者、行政のそれぞれの意思決定が重要になり、それぞれの立場に応じた責任を果たすことが求められる。

現代のように変容する社会に対応するには、社会のニーズをよみとり、柔軟に対応していく姿勢が問われる。また一方では、責任範囲を明確にするためのシステム構築が早急に求められる。安心の自主的提供を果たす手段としての性能設計は、目標の明示、保証の明確化に対応できる。その一方、構造性能の保証が現実的に可能かという問題もあり、これを取り合わせるには、性能表示と十分な事前の説明とを組み合わせることが鍵になる。こういった品質保証をいかに確立するかは、今後の信頼社会＝自己責任の社会への移行に際して極めて重要となる。

今後の社会では、この保証内容に基づく明確な情報開示が求められ、契約の重要性が増し、その契約関係に基づいて、それぞれの職能における責任が追及されることになる。信頼社会は契約社会であり、根拠が客観的に明らかであること、契約を結ぶ双方に合意が成り立つことがポイントになる。ユーザーの要求性能に基づいた明確な設計が提示され、それによって建築の性能とコストとが適正な関係で連動するシステムが構築されてはじめて、建築が健全に社会基盤に根ざしたものとなる。

【引用文献】

- 1) 日本建築学会：建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説，第2版，2004年5月。
- 2) 日本建築学会：環境振動性能設計ハンドブック，第1版，2010年10月。
- 3) 日本建築学会：建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説，第1版，1991年4月。
- 4) 鈴木健司，塩谷清人，田野正典，石川孝重：「建築物の振動に関する居住性能評価指針」に関するアンケート調査結果（その1：鉛直振動について），日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)（環境工学I），pp.315～316，1999年9月。
- 5) 野口憲一，石川孝重，野田千津子，塩谷清人：「建築物の振動に関する居住性能評価指針」に関するアンケート調査結果（その2：水平振動について），日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)（環境工学I），pp.317～318，1999年9月。
- 6) 塩谷清人，石川孝重，横山裕：「建築物の振動に関する居住性能評価指針」に関するアンケート調査結果（その3：鉛直振動に対する居住性能評価の実施例），日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）（環境工学I），pp.315～316，1999年9月。
- 7) 野田千津子，石川孝重：視覚が水平振動感覚に及ぼす影響に関する研究，日本建築学会計画系論文集，第525号，pp.15～20，1999年11月。
- 8) 野田千津子，石川孝重：居住者の意識調査に基づいた環境振動に対する性能評価ランクのあり方に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集（D-1 環境工学I），pp.385～386，2007.8
- 9) 野田千津子，石川孝重：床振動に対する居住者意識に基づいた性能ランクの設定に関する研究，日本建築学会環境系論文集，第74巻，第638号，pp.435～441，2009.4
- 10) 野田千津子，石川孝重：居住者意識に基づいた水平振動に対する居住性能のグレード化に関する研究，日本建築学会環境系論文集，第75巻，第648号，pp.131～137，2010.2
- 11) 石川孝重：環境振動の性能グレードに関する構造設計者のデルファイ法による評価，日本建築学会関東支部研究報告集（環境工学），pp.169～172，2009