

小特集

建築における環境振動評価と目標性能の設定

日本女子大学 住居学科
石川 孝重



1. はじめに

建物振動の評価は、自然現象を含めた建物内外の加振源を対象に、建物の構造に対する影響、建物内の積載物に対する影響、建物内の人間に対する影響を扱うことになる。これらは、地震による安全性とは異なり、日常的な居住環境における振動を評価することとなり、環境振動として位置づけられる。このような環境振動にかかわる全体像を図1¹⁾に示す。

本稿では、居住環境における振動評価の主体となる人間に対する影響を主にとりあげ、建築設計における環境振動にかかわる最近の動向をまとめる。

2. 新しい環境振動問題

建築における環境振動への取り組みは、「好ましくない振動」をいかに除去するか、あるいは許容できる範囲内までいかに低減するかという命題に対して具体的な解決策を与えるという形で進められてきた。その解決策の多くは、これまで、振動を①振動源で除去するか低減する、②伝播経路で遮断するか低減する、③受振点で除去するか低減する、といったいずれかの方法か、あるいはこれらを組み合わせた方法がとられてきた。

こうした環境振動への基本的なスタンスは今後も大きく変わることはないと考えられるが、環境振動の様相は時代とともに徐々に変化しており、従来とは質的に異なる



図1 環境振動にかかわるフロー

る問題が顕在化してきていることも見逃せない。^{2, 3)}

従来の環境振動においては、受振点における「好ましくない振動」の振動源は比較的容易に特定でき、その振動源・伝播経路・受振点という一次元的な流れの中で解決できることが多かった。しかし、最近は振動源が多様化・複雑化し(図2)、伝播経路はネットワーク的に広がり、受振点における「好ましくない振動」の振動源を正確に特定することが容易でないばかりか、場合によっては複数の振動源からの振動の複合効果により多面的な対応を迫られることが少なくない。

建築における環境振動の様相の変化は、振動源、伝播経路、受振点のいずれでも同時に進行している。初版の発行から13年を経て2004年5月に改定された日本建築学会発行の「建築物の振動に関する居住性能評価指針」⁴⁾も、これまで対象とされなかった道路交通や鉄道による振動、中低層建物などにおける風揺れなどを対象範囲に含めており、実際の振動環境はより多様化の様相をみせている。

その一方で、社会的な動向により、環境振動に対する評価の主体となる人間の価値観も多様化している。このような社会的背景を鑑みると、居住環境における環境振動についても、一定の基準値を満足すればよいという評価がなりたたなくなっている。

3. 建築における目標性能の設定

建築界は、2000年に相次いだ住宅の品質確保の促進等に関する法律、建築基準法の改正施行をきっかけに、確実に性能設計へと移行しつつある。すなわち、建築基準法の精神に則った施行規則や学会規準などが定めた基準値を満足するか否かを設計判断としてきた従来型の設計

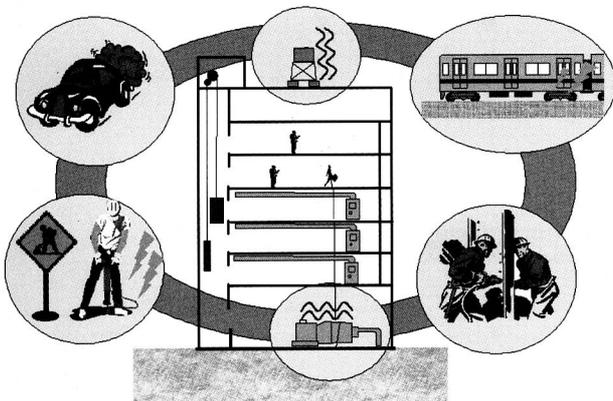


図2 振動源の多様化・複雑化

体系から、各建物に求められる性能を個別に吟味し、それぞれに適切な目標性能を設定し、その性能レベルを確保するべく設計するという設計体系が基本となりつつある。

このような性能設計に基づけば、技術者の裁量による自由度は高くなり、個別の要求と環境に即した設計条件を設定し、それぞれに適した手法で性能を担保すればよいことになる。ただし一方で、目標とした性能が実現されなかった場合は、技術者の職能としての責任は重くなり、責任追及が厳しくなることが容易に予想される。

図3は、性能設計の枠組みをフローとしてまとめたものである。性能設計における最初の重要なステップは、各建築に対して個別に決定される目標性能の設定である。この決定主体は、あくまで建築主やオーナーであり、したがってその最終責任も彼らにあることになる。プロである技術者にここで求められるのは、性能に関する知識をもたない建築主が適切な性能レベルを選択できるよう、専門家としての高度な知識と経験に基づいた支援を行うことである。目標性能レベルの決定の際には、各種性能に関する建築基準法の精神と時代背景をも含めた社会の総意(潜在的な要求)を十分に理解した上で行う必要がある。特に公共性の高い建築物など、建築主と使用者(居住者)が異なるような建物については、そのような配慮が強く求められる。

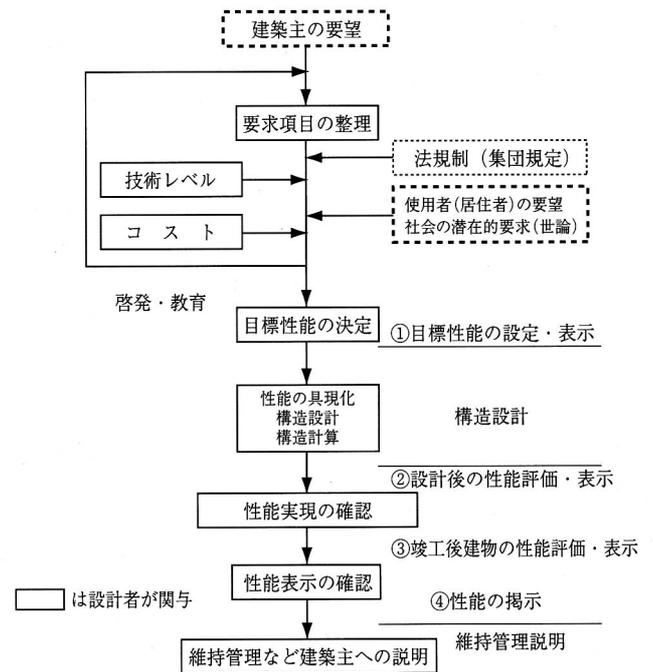


図3 性能設計の実現フロー

4. 性能設計における説明責任

テクノロジーが工業から情報へと急激にシフトする現代社会において、目標性能の設定と、それに基づいた設計、その性能表示は情報開示であり、時代の要請に適っている。

しかしながら、法律で定められた9分野29項目の性能で十分であるはずもなく、消費者保護を大きな目的としているにもかかわらず、提示されている性能等級の説明は難解で、専門用語の知識がなくては理解できない場合が多い。しかし、この制度は設計情報の開示という効果にとどまらず、従来の「専門知識を有した専門家に一任」という社会規範を、「インフォームド・コンセントに基づく性能の設定」という新しいパラダイムへと転換させる意味をもつ。

現代医療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。わが国では、建築は建築主やオーナーの財産であり、命をもとにユーザーが自己責任を負うものであるがために、医療と同様に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ゆくことで、ユーザーの責任感覚を促し、その結果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ことになる。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。これまで伝えられてこなかった性能情報を、ユーザーにもわかりやすく、実感できるように開示することが求められる。

大半のユーザーは建築物の性能に関する専門的な知識も興味も薄い。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。例えば建築の場合、地震に対する安全性など、基本的な構造安全性であればまだしも、より日常的な性能の場合、その表現は快い、不快である、感じる、感じないといった感覚的なものとなることが多い。こういったユーザーの曖昧な要求を、設計指標とどうとり合わせるのか、これが技術者の直面する課題である。これを解決するには、ユーザーが実感できるようにわかりやすく性能を説明する必要がある、そのためのノウハウ作りが急がれる。

5. 居住性能の評価と性能設計

性能設計において、最初のもっとも重要なステップは、要求（目標）性能レベルの設定にある。そのためには、

技術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分かりやすく理解できるような資料が必要になる。

現在のところ、建築における環境振動の評価は、日本建築学会の「建築物の振動に関する居住性能評価指針」によるところが大きい。

2004年の改定では、アンケート⁹⁾などを通して寄せられた実務者からの要望をできるかぎり盛り込むことに留意した。従来対象とされていた床の鉛直振動、風による水平振動に加え、要望の多かった交通振動を新たに取り上げ、章構成を加振源ごとに整理した。さらに、風振動の対象範囲をより高振動数に広げた。また、時刻歴波形の最大値を用いると定義されている前指針の評価において、フーリエスペクトルや1/3オクターブバンドスペクトルをプロットしたりと、様々な使われ方をされていることが明らかとなったため、評価結果を統一的なものとするため、評価する際の振動諸元の定義をさらに明確にするべく、1/3オクターブバンド分析による加速度最大値を評価に用いることとした。測定条件についても統一的な方法を提示するように努めた。

またもう一つ大きな変更は、上述のような性能設計の考え方に従って、同指針では要求性能レベルの設定を個々の物件ごとに技術者が建築主の意向をふまえて決定することとした。そのため、建物の用途などによる推奨ランクなどを提示せず、各性能レベルの意味するところを具体的に説明できる性能評価曲線を示すこととした。そのための方策として、図4、図5のように評価曲線を知覚確率と対応させ、「〇%程度の人を感じる可能性がある」というようにどの程度の振動が暴露されるのかを比較的わかりやすく表現した。例えば、鉛直振動のV-50は知覚確率50%程度を意味する。日常的な振動に関する居住性能を建築主に説明する上で、「〇%の人を感じる」という確率的な表現は、改定作業に先立って実務者に行ったアンケート調査⁹⁾でも、建築主に受け入れられる可能性があると言及されたものである。

さらに、振動レベルや加速度最大値を心理的な感覚を感じる人の確率と対応させた説明資料を付録に掲載するなど、性能評価曲線の説明性をできるかぎり高めている。また、既存建物の性能評価例などをデータとして掲載し、目標性能の決定に際して、技術者が参照するための資料もできるだけ盛り込んだ。

この指針は、法的強制力をもつものではない。学会が

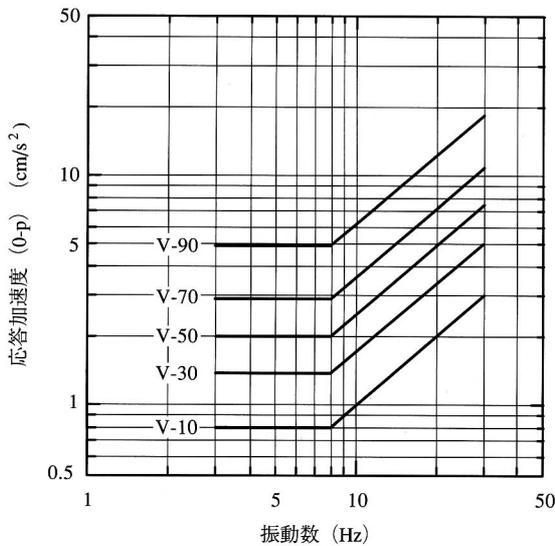


図4 鉛直振動に関する性能評価曲線

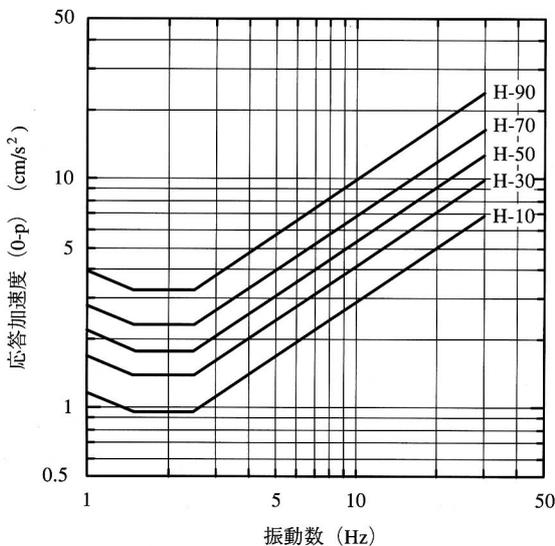


図5 交通による水平振動に関する性能評価曲線

今後提示する規準類は、社会のニーズに沿った設計に資する資料になることを念頭におき、アカデミック・スタンダードとして位置づけられる。建物としての至上命題である人命と財産の保全として、地震に対する安全性の確保は、最低限満足すべき基準値としての意味がある。しかし、環境振動の対象は、人間の感覚である不快さの程度であり、建物ごとに建築主が技術者との対話を通して、コストとのバランスを考慮しながら、個別にレベル選択を試みていくことは今後の姿として自然である。この指針で提示している性能評価曲線は、そういった性能のグレードを提示するという意味でも、扱いやすいものになると考えている。

6. 性能表示制度とわかりやすい説明

品確法によって、それまでユーザーにとってみえにくかった住宅の品質を、性能という客観的な尺度で提示する試みが始まった。この住宅性能の表示の適性化を図るための共通ルールとして日本住宅性能表示基準が定められた。これらの法律の目的は、住宅の品質を確保し、建築主や買い手の利益を保護することであり、瑕疵担保責任の義務づけや紛争処理機関の設立なども含めて、消費者保護として機能するものとして期待している。

この制度では現状でも、音や光、熱など、再現期間の短い身近な性能をいくつか取り上げている。その一つとして、任意項目の音環境で用いられているJISの遮音等級は材料の性能を定量的に示すものであり、これもひとつの評価法である。他の性能も同様であるが、住宅性能表示基準で示されているのは、建築物としての住宅の性能である。日常的な振動でいえば、加振源からの入力評価と振動応答としての出力評価との比較から、住宅が振動をどの程度低減する効果をもつか、を等級として表現することとなる。すなわち、現在の住宅性能表示基準は、あくまで供給側の視点による性能評価の域をでていない。

技術者としては、周辺環境や建物特性をできるかぎり正確にとらえ、性能評価の対象となる出力に対する評価の精度を上げなければならない。予測法の精度がそれにたえるものになっているか否か、なかなか難しい問題である。しかしこのままでは、消費者の利益の保護を目的とした性能表示にあって、建築主やユーザーが求める性能評価には遠い。

居住者が真に求めるのは、個々の環境に満足できるか否かという絶対評価である。日常的な振動を例にして端的に言えば、居住者にとって、その建物の振動が何によって発生しているか、原因となる加振源はさほど重要ではなく、建物の中でユーザー自身が受ける振動を、どう感じるか、許容できるか否か、満足できるか否かが、評価の基準となる。この判断では、個別の建物における応答振動に対する絶対評価が重要であり、振動に対するユーザーの評価をどこまでに抑えられるかが、ユーザーとのインターフェースでもっとも重要なポイントになる。

7. 説明資料を用いた性能評価

居住性能評価においては、主体が居住者の感覚評価にあることから、外力条件のばらつきだけでなく、評価指

標である感覚評価にも個人差として大きなばらつきが存在する。このばらつきを平均値などの一律のレベルで評価することは難しく、回答確率を軸として性能のグレードを設定することが有効である。

居住性能評価指針の付録には、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じるのかを読みとれる資料を示している。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のかを、具体的に説明することができる。

図6のように、既存の建物に生じる振動に対して居住性能を評価する場合、何らかの方法で対象建物に生じる振動の実測データや想定される応答振動のデータを得る。該当する振動数の資料を選択し、図6の実線矢印のように加速度最大値をあてはめ、その振動に対するユーザーの状況を「〇%の人が振動を感じる一方、まったく感じない人も〇%いる。また、〇%の人が振動をととても小さいと感じる」などのように性能を説明できる。このようなユーザーの視点にたった具体的な説明を行うことで、建築主はじめ居住者らの実感をともなった理解を得られる可能性を追求したものである。

またこれをさらに進め、性能設計において建築主の要求に基づいて、建物に付与する性能レベルを検討するこ

とも考えられる。すなわち、図6の破線矢印のように「〇%の人が振動をまったく感じないようにして欲しい。感じる人でも〇%位の人が振動をととても小さいと感じるようにして欲しい」などのように、建築主の要求を引き出す。それらを回答確率として、対象建物に予測される応答振動の振動数のグラフに照合することで、建築主の要求性能レベルを加速度最大値に置換できる。

複数の表現を用いる場合、各項目として語られる建築主の要求はばらつくことが予想されるが、その場合は、そのなかでも高い性能レベルを設定するなど、設計者としての総合的な判断が必要になる。また、それぞれの表現による要求を、相互にすりあわせる努力も重要である。その際にもこの資料を活用して、それぞれの表現に対応した要求性能レベルの違いをビジュアルに示しながら、建築主との合意を経て、設計条件を決定することができる。この資料の活用を進めれば、性能設計の過程のなかで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から目標性能を設定することも難しくはない。

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。環境振動に関

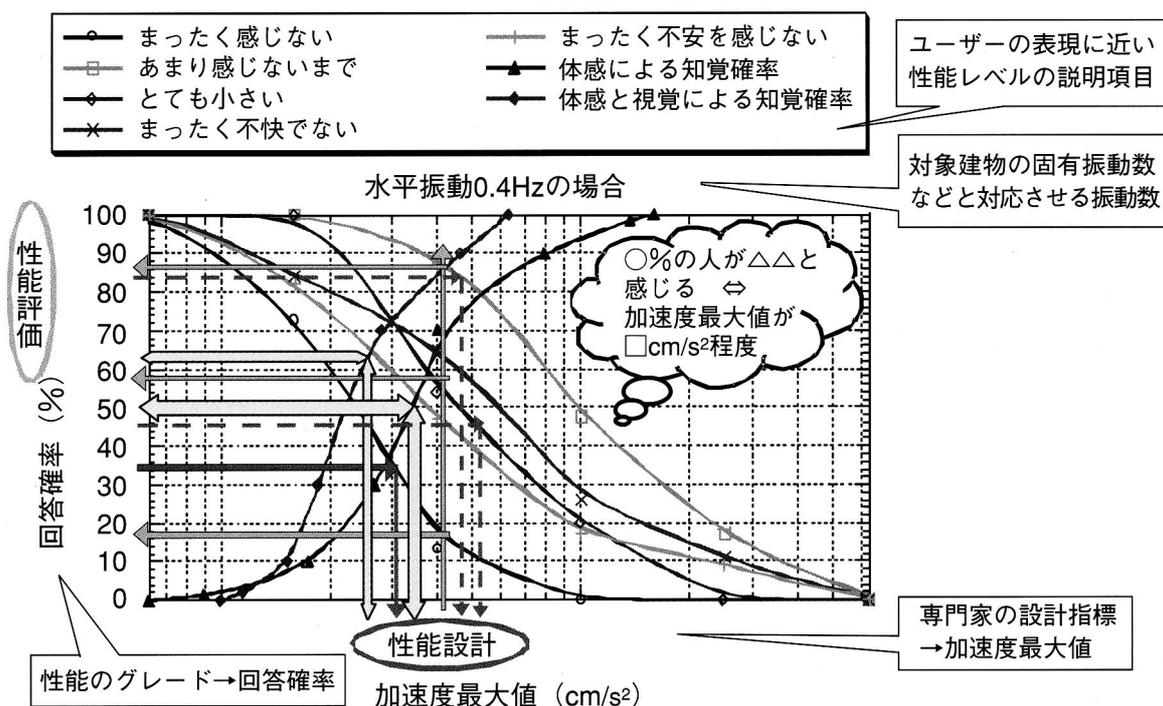


図6 説明資料を用いた性能評価

するユーザーの理解が高いとも限らないため、設計時点で建築主との十分な意志疎通を行い、目標性能を明確に設定することがトラブル防止に有効である。設計における要求性能の決定時点で、設計者をはじめとする技術者が積極的に建築主やユーザーに働きかけ、彼らの意識を啓発し、要求性能を引き出すことが効果的である。

8. おわりに

建築における環境振動の評価は、日常環境におけるユーザーの生活への支障を中心に考えられているが、設備機器や工作機械などを加振源として想定した場合は、指針類などまだ整備されていない面がある。一方、精密機器類など、高いスペックを要求される場合、個別には多くの対策事例が蓄積されているが、その知見が共有されるには到っていない。

日本建築学会環境振動小委員会（4月から環境振動運営委員会）では現在、他学協会とのコラボレーション⁶⁾を積極的に進めている。これまで、振動に対して受け身の立場であり、到達する振動を建物で低減する対策を講じることが多かったが、鉄道や道路交通、機械などの加振源との協調が有効に働くことが多いと理解している。今後、分野を越えた技術者相互の対話を深め、加振源に対する要求性能などをより具体化し、明確に提示していく方向性なども検討する必要があるものと考えている。

引用文献

- 1) 日本建築学会：居住性能に関する環境振動評価の現状と規準，第1版，2000年6月25日．
- 2) 環境振動評価WG：環境振動評価の今後の課題，2003年3月．
- 3) 石川孝重：新しい環境振動の領域とそれにかかわる課題—環境工学の未来を拓く研究と技術開発—，日本建築学会環境工学委員会，第7回環境工学シンポジウム 環境工学の未来を拓く研究と技術開発，pp.11～14，2004年1月29日．
- 4) 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1日．
- 5) 石川孝重，塩谷清人ほか：「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；その2—，日本建築学会大会学術講演梗概集（環境工学I），pp.315～318，1999年9月．
- 6) 環境振動小委員会：第22回環境振動シンポジウム 環境振動研究の将来展開—他学協会とのコラボレーションを通して—，日本建築学会環境工学委員会，2004年1月28日．

【著者略歴】

石川 孝重 (いしかわ たかしげ)

E-mail : ishikawa@fc.jwu.ac.jp

日本女子大学住居学科 教授 工学博士

日本女子大学生涯学習総合センター 所長

日本建築学会環境振動小委員会 主査

著書（共著）：「建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説」日本建築学会（2004年5月），「居住性能に関する環境振動評価の現状と基準」日本建築学会（2000年6月），等々