

2. 設計法

環境振動性能設計法と設計のポイント

Notes of environmental vibration performance-based design

石川 孝重 (Takashige Ishikawa)

日本女子大学 教授・工博

(Japan Women's University Professor, Dr.Eng.)

1. はじめに

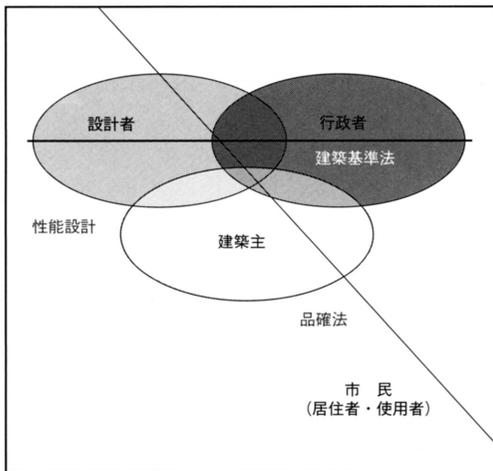
近年の社会環境の変化には著しいものがある。インターネットの爆発的な普及などにより、高度な情報化によるパラダイムシフトが、社会構造自体を大きく変革している。個人が望む情報が簡単に手に入る情報化社会において、そこに暮らす人々の市民意識やそのニーズは著しく多様化し変化している。これまでは社会全体として、行政(法制度)に頼った「安心社会」の構築を目指してきたが、今後は「信頼社会」の構築が前提になる。建築界に目を向ければ、まず供給側の「安心の自主的提供」が重要になる。市民側でも、リスクを曖昧にして引き受ける体制から、リスクとその責任範囲を明確にする体制への変化と、そのためのシステム作りが求められ、建築主や市民ユーザーとのリスクコミュニケーションが重要な鍵になる。

これまでの建築の設計は、設計者をはじめとする専門家に任せられ、設計は法律を遵守することで成り立っていた。図1の建築物の意思決定にかかわる概念図の

中で、横線で示したのがこのことを表している。

一方、斜線で示したのは今後の意思決定のあり方を提示したものである。最終的には建築は私有財産であることが多く、その場合は資金提供者である建築主などのユーザーが安全性レベルなどの性能選択の権利と責任をもつことになる。設計者をはじめとする専門家は、その判断が適切に行えるよう、支援することが求められる。もちろん、単体規定はともかく、公共の福祉などを担保するために必要な集団規定は、建築基準法をはじめとする関連法令で最低限規制されることになる。

要するに、設計者をはじめとする専門家には、個々の建築に求められる環境を建築主の要求に応じて設計することが求められ、その多様な建築主や市民ユーザーの要求に即した性能を実現するための総合的な判断力が求められる。今後の社会では、設計者・専門家、建築主・ユーザー、行政(法律)のそれぞれの立場・職能に応じた責任を果たすことが求められることになる。供給側の責任は、「どうつくるか」だけでなく、「どんなものをつくったか」を明示する方向へと移行し、「どのレベルの性能か」の説明が求められるようになる。対象物件個々の目標性能レベルについての合意を形成し、「いくらのお金」を出して「どのくらいの安全性」を確保するのか、これには市民にも最低限の知識が求められるが、設計者にもわかりやすい表現と地道で、粘り強い建築主やユーザーとの対話が必要不可欠になる。



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1 建築にかかわる意思決定主体

2. 改正建築基準法、品確法と性能設計

2000年の住宅の品質確保の促進等に関する法律(品確法)、建築基準法の改正施行をきっかけに、現在の建築設計は性能設計へと移行している。建築基準法の改正では、構造強度や防火に関する構造や材料の性能規定化を含む大幅な改正によって、材料や寸法などを具体的に定めた仕様規定に従わなくても、定められた性能を満足すれば自由に設計できるようになった。これに基づけば、設計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、設計者の職能としての責任は重くなり、追及が厳しくなることも否めない。

図2は、性能設計の枠組みをフローとしてまとめた

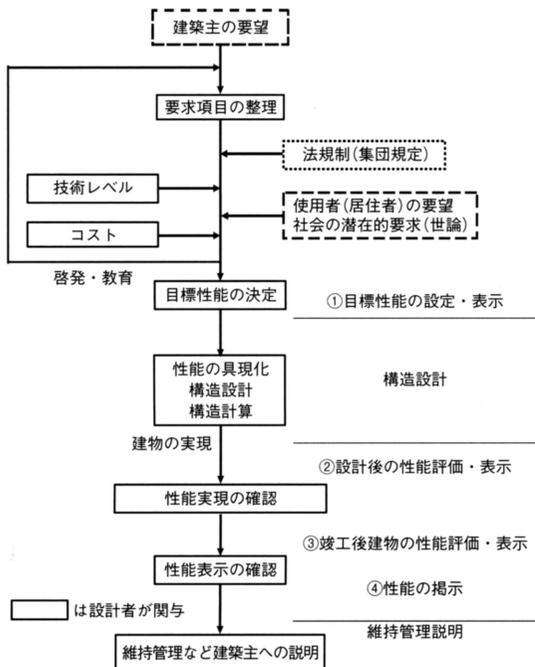


図2 性能設計のフロー¹⁾

もの¹⁾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。プロである設計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。

品確法によって、それまでユーザーにとって明確にはみえにくかった住宅の品質を、性能(安定・安全・環境)というかたちで客観的に明示できる尺度の提示が試みられている。この住宅性能の表示の適正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期待されているが、現在の法律で規定されている内容や、これら法

律が運用されているバックグラウンドを鑑みるにつけ、真の意味で消費者保護として機能しているかには疑問が残る。

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。現在のところ、性能表示の対象となるのは「構造の安定」「火災時の安全」「温熱環境」「空気環境」「音環境(選択項目)」などの10項目であり、環境振動は性能表示項目に含まれていない。日常的な振動を例にしていえば、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、それに対するユーザーの評価をどこまで引き出されるかが、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。

3. 市民ユーザーに身近な性能設計体系と説明性

建築にまず求められるのは構造安全性能であるが、このもととなる地震外乱の再現期間はあまりに長い。建築主も含めてユーザーにとって、一生の間で遭遇しないかもしれない数十年、数百年に一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。彼らには、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事であり、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をふまえると、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構築することが望まれる。居住性能や使用性能で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。これによって身近な性能が要求指標となり、ユーザー理解の促進につながる事が期待できる。

社会的な理解が深まってはじめて、建築は社会基盤に立脚した揺るぎないものとなる。理解が得られれば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ことになろう。両者の間に適正な関係が築かれてはじめて、ランクづけされた性能レベルがユーザーの要求に対応する選択肢として機能する。

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、性能設計とその表示は情報開示で

2 環境振動性能設計法と設計のポイント

あり、時代の要請に適っている。日本住宅性能表示基準で対象とされている現在の項目で十分であるはずもないが、この制度は設計情報の開示という効果にとどまらず、構造設計などについては、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、人命の保全を担保にして、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、建築主をはじめユーザーの責任感覚を促し、その結果、建築への適正なコストの支出が促進され、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。これまで市民に伝えられてこなかった構造などの性能情報を、彼らにもわかりやすく、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、ましてや構造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。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、これが設計者・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重要と考えられる。

4. 振動にかかわる居住性能評価と性能設計

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ある可能性も否めない。

2004年に改定した「建築物の振動に関する居住性能

評価指針」²⁾(以下、居住性能評価指針という)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%程度の人を感じずる可能性がある」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。日常的な振動に関する居住性能を建築主に説明するうえで、「〇%の人が感ずる」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³⁾でも、建築主に受け入れられる可能性があると言われたものである。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が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。「環境振動性能設計ハンドブック」⁴⁾にも収録している

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。

近年の住宅市場動向調査⁵⁾や消費者対象の調査をみると、住宅の性能のひとつとして日常的な振動を意識しているユーザーは2割程度なのが現状である。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。

5. 目標性能の設定にむけて

実測あるいは応答解析による振動の物理量を、居住

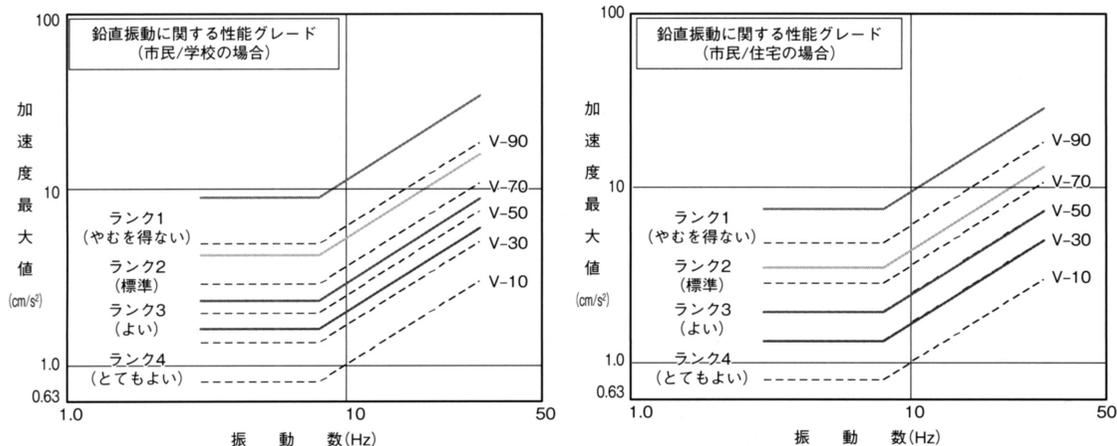


図3 床の鉛直振動に関する市民意識に基づく性能グレード⁷⁾
注：事務所は学校に相当するものと考えることができる

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じるかという観点から説明することができる。すなわち、これらは不快の程度などとは異なる、振動を感じる人の確率を基盤とした評価であるが、「環境振動性能設計ハンドブック」⁴⁾の性能説明資料を参考にして、振動の大きさや不快感など、多様な観点をを用いて、振動発生下での居住者の状況を補足して説明することができる。

これらによって、建築主は、対象建物に発生する振動によって、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、標準的に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。

居住性能評価指針では、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⁶⁾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⁷⁾、建物の水平振動⁸⁾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3が床の鉛直振動に関する性能グレード、図4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されている⁸⁾。こ

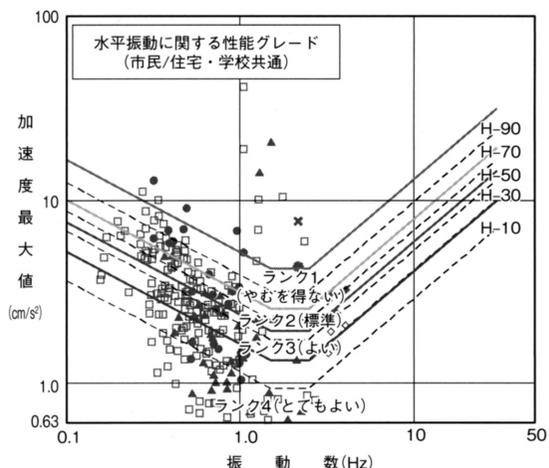


図4 建物の水平振動に関する市民の意識に基づく性能グレード⁸⁾と風振動の評価例²⁾
注：事務所は学校に相当するものと考えることができる

2 環境振動性能設計法と設計のポイント

それを踏まえ、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表す。

同時に行った意識調査⁷⁻⁸⁾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5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。この結果を参照すると、図3および図4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。

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観点から重要な要素になる。図6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の⁹⁾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

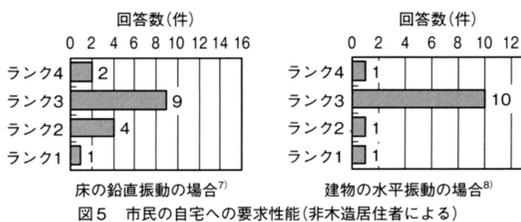
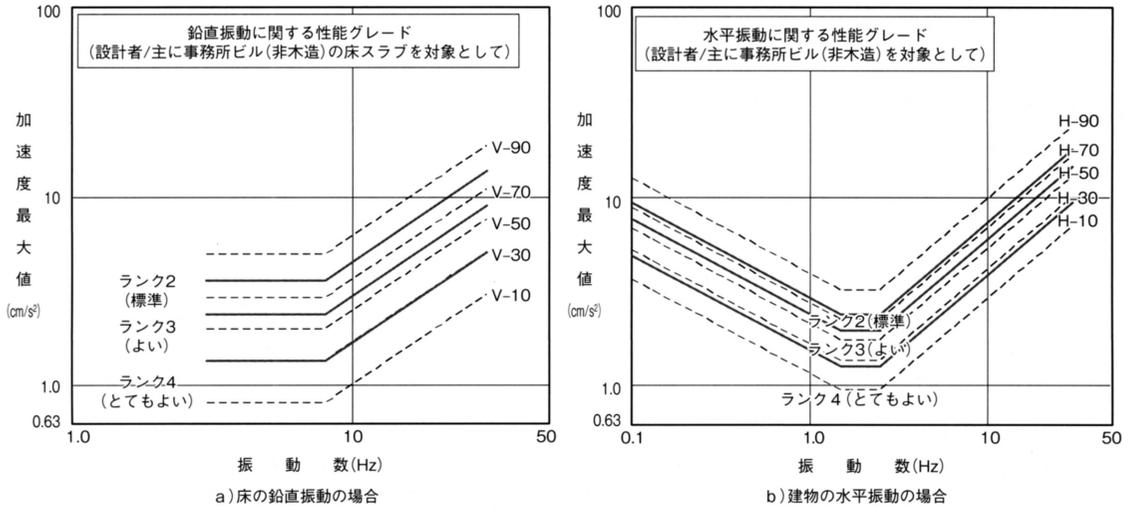


表1 市民の意識に基づく性能グレードと加速度との対応

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	$3 \leq f < 8$	$8 \leq f < 30$
	ランク4(とてもよい)					
ランク4と3の境界	40%	1.62	$0.20 f$	30%	1.36	$0.17 f$
	ランク3(よい)					
ランク3と2の境界	約60%	2.37	$0.30 f$	50%	2.00	$0.25 f$
	ランク2(標準・普通)					
ランク2と1の境界	約85%	4.27	$0.54 f$	80%	3.59	$0.45 f$
	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	$1.14 f$	約97%	7.67	$0.96 f$



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。

6. 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。

このような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」を果たすための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。

【参考文献】

- 1) 石川孝重：性能のレベル設定について(2章)、「性能型構造設計法のあり方と性能評価尺度」シンポジウム資料、日本建築学会、pp.15-23、1998.3.11
- 2) 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、2004.5
- 3) 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、1999.9
- 4) 日本建築学会：環境振動性能設計ハンドブック、第1版、2010.10
- 5) 平成14年度住宅市場動向調査(性能評価アンケート)報告書、平成15.3
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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