

居住者の価値意識に基づいた建築物の水平振動性能ランク*

小泉達也^{*1}・石川孝重^{*2}

1. はじめに

現在、環境振動を対象とした設計では居住性能評価指針¹⁾が一般的に用いられている。同指針では知覚確率（何%の人が揺れを感じるか）との関係から性能評価曲線を提示しており、対象建物でどの程度の人が振動を感じるかを知ることができる。しかし、建築主の要求などの性能評価に対する意味づけ（標準・推奨）を与えているとはいえない。

そこで、居住者に対する意識調査を実施するとともに、同時に振動の体感実験を行い、居住者の水平振動に対する性能評価を振動の物理量に結びつけて、性能ランクを構築する試みを実施した^{2)~5)}。

最終的には、居住者がもつ要求レベルをふまえた目標性能のグレードを設計指標となる振動の物理量との関係から提示し、設計者が構造設計をするにあたって、建築主との合意形成をはかるための基礎資料とすることを考えている。

ここでは、風などの水平振動に対して、居住者の望む振動性能ランクの構築を行った内容と、性能ランクの使用事例を紹介する。

2. 実験の概要

2.1 性能ランクの設定

性能ランクの考え方を図-1に示す。性能を4段階のランクに分け日常的な振動を超えると考えられる範囲をランク0とし、ランク2を標準とする5段階の性能ランクを想定した。

これらの性能に相当する振動の物理量を、振動実験と意識調査のそれぞれのアンケート結果を統計的に分析することにより決定することとした。

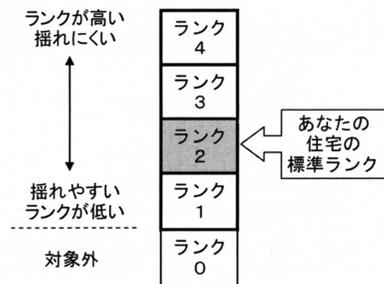


図-1 性能ランクの考え方

2.2 振動実験

居住者の価値意識に基づく性能ランクと振動の物理量および知覚確率との関係を調査するために、振動台を用いた被験者実験を行った。

実験の状況を図-2に示す。3m×3mの加振テーブルの上に、高さ3mの鋼材製の居室を設置し、床面にはカーペットを敷いている。被験者は18~47歳の女性40名で、1日に8名ずつ5日間に分けて実験を実施した。被験者の実験室内での姿勢は、足をのばした状態での座位とした。

入力振動は正弦振動とし、振動数0.1~40Hz（14種類）、加速度最大値1.6~400cm/s²（7種類）の範囲で、それぞれ対数軸で等間隔となるように、評価対象とする振動70種類の目標値を設定した。実験では、振動数を一定として加速度を徐々に大きくしながら水平振動を入力した。各目標値に達するまでの時間は約24秒で加速度を増加させ、振動の目標値に達した時点で約50秒間、振幅を定常にして加速度を一定にする。振動数の入力順序はランダムに設定したが、全被験者に対して同じ順序で入力した。

実験者は実験の開始を伝えて振動を入力した後、振動が定常振幅になった約10秒後に、被験者にアンケートの回答開始を指示する。被験者は実験者の合図を受け、その時の振動を感じながら40秒程度で、アンケート用紙の各設問に回答する。この間の振動をサーボ型加速度計で収録し、加速度最大値の評価に用いた。

* Habitability Grade of Horizontal Vibration Based on Residents' Perceptions

*1 Tatsuya Koizumi : OBAYASHI Co. ((株)大林組)

*2 Takashige Ishikawa : Japan Women's University (日本女子大学)

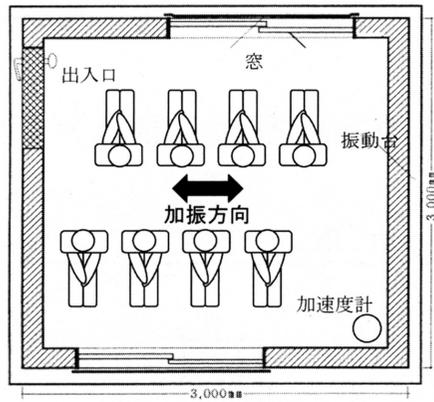


図-2 実験状況

表-1 設問内容

Q1	まったく不快でない	あまり不快でない	不快である	かなり不快である	非常に不快である
Q2	とても小さい	小さい	どちらでもない	大きい	とても大きい
Q3	まったく不安を感じない	あまり不安を感じない	不安を感じる	かなり不快である不安を感じる	非常に強く不安を感じる
Q4	まったく感じない	あまり感じない	感じる	強く感じる	耐えられない
Q5	とても弱い	弱い	どちらでもない	強い	とても大きい強い
Q6	まったく気にならない	ほとんど気にならない	あまり気にならない	少々気になる	気になる
Q7	我慢できる		我慢できない		
Q8	どの位の頻度まで許せますか？(地震や事故は除く)				
	日に何度も	日に一度	月に一度	年に一度	一度でも許せない
Q9	住宅の揺れとして当てはまる言葉に、1つ以上、いくつでも○をしてください				
	まったく感じない許容できない	不安である小さい	かすかな不快である	怖い耐えられない	
Q10	住宅の寝室として、よい環境だと思いますか？				
	そう思う	どちらかと言えそう思う	どちらとも言えない	どちらかと言えはそう思わない	そう思わない
	学校の教室として、よい環境だと思いますか？				
	そう思う	どちらかと言えはそう思う	どちらとも言えない	どちらかと言えはそう思わない	そう思わない
Q11	住宅の寝室の場合、日常的な振動の性能ランクとしてどの程度ですか？				
	4 とてもよい	3 よい	2 普通(標準)	1 やむを得ない許容できない	0 あり得ない
	学校の教室の場合、日常的な振動の性能ランクとしてどの程度ですか？				
	4 とてもよい	3 よい	2 普通(標準)	1 やむを得ない許容できる	0 あり得ない

水平振動の知覚及び感覚評価の特性を知るために、実験では11種類の設問を設定した。設問の内容を表-1に示す。被験者は各振動を感じながら、Q9ではその時の振動にあてはまると感じた表現をすべて選択し、それ以外の設問ではあてはまる表現を1つつ選択する。このような絶対評価を用いたのは、実環境における表現にできるかぎり近い評価を得るためである。特に、性能評価にかかわるQ10、Q11では、住宅の寝室や学校の教室にいる場合を自由にイメージさせているが、それぞれ状況を具体的に想定して区別するよう、実験前に指示した。

なお、居室自体の剛性はきわめて高いが、16 Hz程度で居室全体が共振し、鉛直方向の振動および共

振音が発生した。そのために加速度が高い範囲での感覚評価には影響をおよぼしている可能性があるため16 Hzのデータは解析対象から除いた。これ以外の物の動きや音などの体感以外に振動を想起させる要因をできるかぎり排除して実験を行った。

2.3 性能ランクに関する意識調査

性能ランクと振動との関係や住まいに望むランクなどに着目して、環境振動の性能評価に関する意識調査を振動台実験の前後に実施した。調査では、住宅に関して設定した5段階の性能ランクについて、知覚確率のイメージなどを問う設問に対して回答を得た。日常的に振動を体験している人が多い木造戸建住宅の居住者と、地震以外では日常的にほとんど振動を経験したことがない非木造マンションの居住者として、住宅形式を区別して集計した。回答者は計40名(女性・18~47歳)であるが、性能ランクと振動の大小関係が整合した回答(木造戸建住宅居住者19件・非木造マンション居住者13件)を対象とした。このうち、ランク2とランク3について「100人中○人~○人が振動を感じると思うか」という設問の各人の回答範囲の中央値の集計結果を図-3に示す。

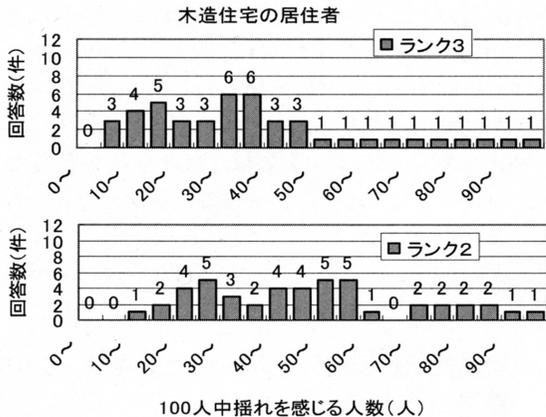
回答者によって自宅での振動経験に違いがある木造戸建住宅の居住者では、ランク2、ランク3とも知覚確率のとらえ方が様々であり回答の範囲が広い。一方、多くの人が自宅での振動経験がない非木造マンションの居住者では、回答の分布が概ね100人中50人以下の範囲に限られる。ランク2では100人中30~40人、ランク3では10人~20人程度を中心に、回答が比較的収束する。また、住宅形式を比較すると、木造戸建住宅より非木造マンションの居住者の方が、各ランクに相当する振動の知覚確率を低くとらえている。

3. 性能ランクの構築

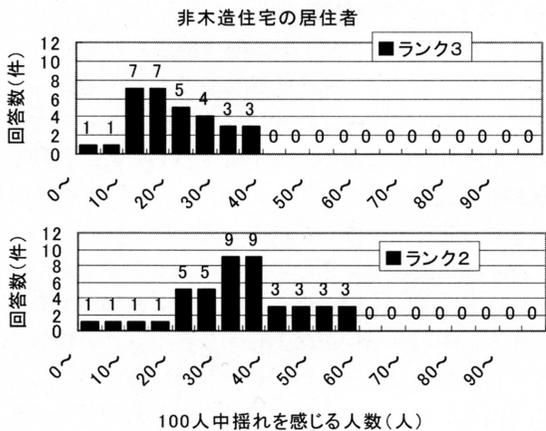
3.1 知覚確率に関する既往の実験との比較

振動実験中に実施したアンケートから、Q4の設問で「まったく感じない」以外の回答をした被験者の割合をその振動を感じた人の割合(各振動の知覚確率)として評価して、既往の実験結果との整合性を確認した。実験結果より10%から90%の範囲で20%ごとに知覚確率を算出し、振動数-加速度の両対数軸上の2次式による回帰曲線で評価した知覚確率を図-4に、既往の研究⁶⁾において同様に算出された知覚確率を図-5に示す。

図-4と図-5を比較すると振動数1.0~2.0 Hz近傍に凹みを持つ回帰曲線の形状は同じである。ま



100人中揺れを感じる人数(人)



100人中揺れを感じる人数(人)

図-3 意識調査の集計結果

た、図-4では知覚確率30%~50%は図-5よりも加速度最大値は大きめとなる傾向となった。本研究では日常的に発生する振動を対象とした居住性能評価を主な目的としているため、加速度が小さい範囲を中心に、振動数と加速度振幅を既往研究⁶⁾より増やした。その結果、水平振動を特に敏感に感じる1.0~2.0 Hz程度以外の振動数範囲で、知覚確率10%に相当する加速度が明確になったことから、特に、加速度が小さい範囲における違いが生じていることが原因と考えられる。一方、知覚確率70%程度以上となる、加速度が比較的大きい範囲では、両者の結果もほぼ等しい。

3.2 振動実験による性能ランクの評価

Q11において、評価対象の振動をあるランク以上であると回答した人の割合を性能ランクの累積回答確率として、振動の物理量と性能ランクの関係を評価した。実験結果のうち、0.25 Hzの場合について、実験実施日ごとの累積回答確率と知覚確率を、加速度の常用対数を説明変数とした4次式で回帰した結果を図-6に示す。Q11の設問は住宅の寝室と学校

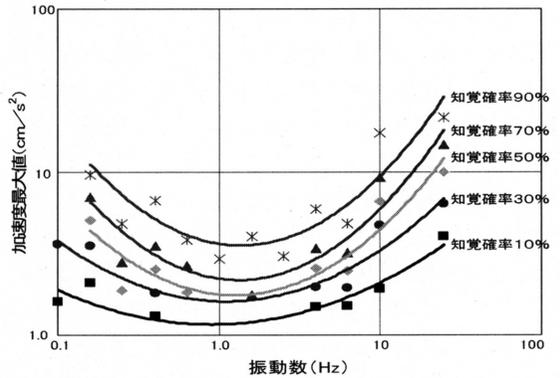


図-4 本実験における水平振動の知覚確率

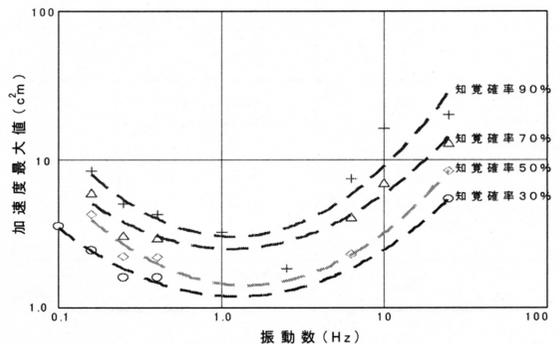


図-5 既往研究における水平振動の知覚確率

の教室を分けて質問しているため、それぞれの回答を分析した結果を同時に示している。知覚確率は右上がりの破線、性能ランクの累積回答確率は右下がりであり住宅が実線、学校が点線となっている。例えば、0.25 Hzで実測加速度約10 cm/s²の場合、知覚確率はほぼ100%で、住宅・学校ともに15%の人がランク3より良い評価、60%の人がランク2より良い評価と回答していることがわかる。

また、図-6にみるように、住宅と学校を想定した性能ランクに対する累積回答確率はほぼ等しい。この原因としては、実験後のヒアリングから、住宅と学校という用途の差よりも、どのような状況を想定したかによる差が顕著であることが考えられる。意識調査でも、学校と住宅による標準ランクの違いは回答者によって想定が異なる結果となった。これらを総合して振動の物理量との関係からとらえると、住宅と学校を想定した性能ランクはほぼ同程度の評価になるものと考えられる。意識調査では、標準のランク2や1段階上のランク3に相当する振動は、全体的にかなり低い知覚確率として評価されている。日常的に水平振動を感じた経験が少ない非木

造マンションの居住者では、標準のランク2で知覚確率30~40%程度が中心となる。このような結果に相当する位置づけを性能ランクに与えるために、累積回答確率84.13%（正規分布+1σに相当）を基準に性能ランクを評価することとした。図-6の太線がこの累積回答確率84.13%のレベルであり、回帰曲線との交点は各ランクの境界を表わす。すなわち、この境界が位置する加速度以下に振動をおさえることで、約80%程度の人が該当する性能ランクあるいはそれ以上に高い性能と評価することを表す。

図-6から得られた住宅の各性能ランクの範囲を分類し、他の設問の一部について累積回答確率を示したものが図-7である。このような図を活用することで、各性能ランクに分類された範囲で、どのよ

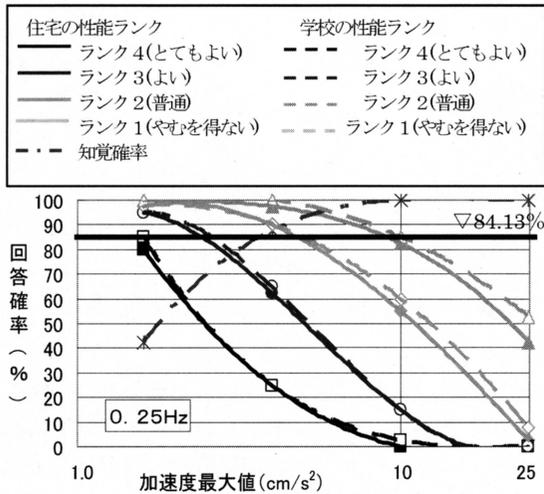


図-6 性能ランクの累積分布 (抜粋)

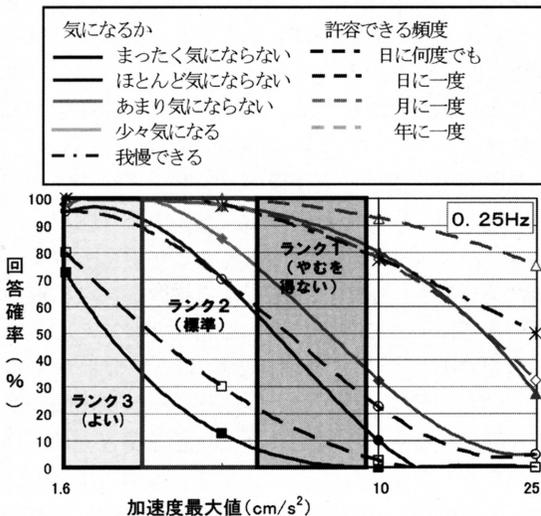


図-7 性能ランクと評価縮尺の関係 (抜粋)

うな評価の人がどの程度いるかを把握することができ、知覚確率による表現では実感に乏しい性能ランクについて、どの程度の振動であるかをよりわかりやすく具現化できる。

例えば標準のランク2では、ほぼ全員が我慢でき、日に一度までなら許容できる人がほとんどであること、自宅に望む人がもっとも多いランク3では、振動が全くまたはほとんど気にならない人が大半を占めることなどが読みとれる。

4. 居住性能評価指針をふまえた性能ランクの提案

4.1 性能ランクと知覚確率との関係

累積回答確率84.13%を基準に評価した性能ランクと知覚確率との関係を明確にするため、図-6より得られる各性能ランク間の境界に相当する最大加速度を振動数毎に求め、加速度を目的変数、振動数を説明変数（いずれも常用対数値）として、2次式による回帰曲線で評価した結果を図-8に示す。

各曲線は性能ランクの境界を示すラインであり、各ランクは図中に示すような幅をもった範囲で表現される。住宅か学校かによらず、各ランクの境界を示す回帰曲線の傾向は類似しており、傾きなどもほぼ同程度である。図中に細実線で示した知覚確率全体的な傾向は類似しており、性能ランクを知覚確率との関係から評価できることがわかる。なお、設計対象としてもっとも低いレベルに位置するランク1の限界は、ほぼ全員が振動を感じるレベルとなっている。日常的な水平振動が各ランクの範囲内であれば、80%程度以上の人が、そのランクよりも高い性能を有する建築物であると評価していることを表す。

図-8に示した性能ランクと知覚確率との関係か

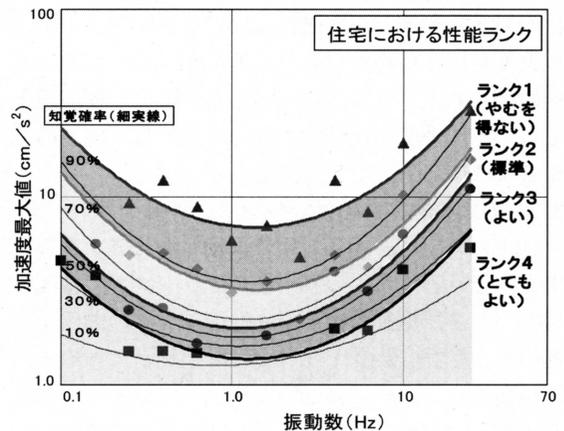


図-8 住宅を想定した性能ランク

ら、住宅・学校の場合とも共通して、標準のランク2は知覚確率60~80%、自宅のランクとして望む人がもっとも多いランク3は知覚確率30~60%に相当する。知覚確率30%以下であれば、とてもよいランク4になる。

4.2 居住性能評価指針をふまえた性能ランク

今回の実験結果と居住性能評価指針で引用される既往の結果を比較すると、知覚確率と加速度の関係に相違が見られるため、図-8に示した回帰曲線をそのまま単純化して性能ランク曲線とすることは適切とはいえない。そこで、居住性能評価指針の性能評価曲線と知覚確率との関係が明示されていることを受け、性能ランクと知覚確率との関係に基づいて、居住性能評価指針の性能評価曲線をベースとした性能ランクを提示することを試みた。

図中の「H-○」とは○%の人が揺れを感じる知覚確率を表す。

図-8の回帰曲線からランク4がH-30以下、ランク3がH-30~H-60、ランク2がH-60~H-80、ランク1がH-80以上で振動を感じない人がほとんどなくなる範囲(H-97相当)までとした。その上で、知覚確率が対数正規分布などの指針で用いられている条件をふまえ、各性能ランクの境界に相当する知覚確率の加速度を算出した。

この結果を居住性能評価指針の性能評価曲線と同じ勾配の曲線を用いて表したものを、学会指針をふまえた水平振動のランクとして図-9に示す。性能ランクのとらえ方に対しては、想定した状況や自宅などにおける過去の振動経験の影響が大きく、一概に用途による違いを設定することが難しい。水平振動を対象とした場合、住宅あるいは学校を想定した性能ランクは、振動の物理量との関係においてほぼ等しく評価されているので、ここでは両者を共通した性能ランクとした。

4.3 建築物の性能をふまえた性能ランクの関係

既存の建築物がもつ振動性能との関係から、図-9に示した性能ランクの位置づけをはかる。既存の建築物における風振動の評価事例と性能ランクとの関係を図-10に示す。

対象とした建物は30~40階建の事務所や集合住宅が主である。構造種別は鉄筋コンクリート造を中心に鉄骨造なども含まれ、1次固有振動数は0.19~0.49 Hzの範囲にある。図中のプロットは各建物の風による水平振動の性能評価に用いた振動数と加速度振幅を表している。多くは荷重指針⁷⁾に提示された方法や風洞実験などに基づいた解析による評価値

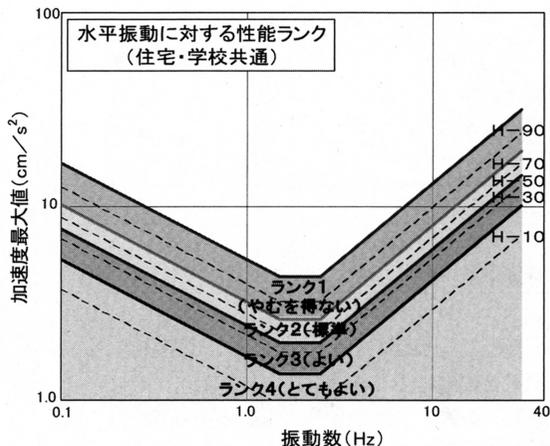


図-9 学会指針をふまえた性能ランク

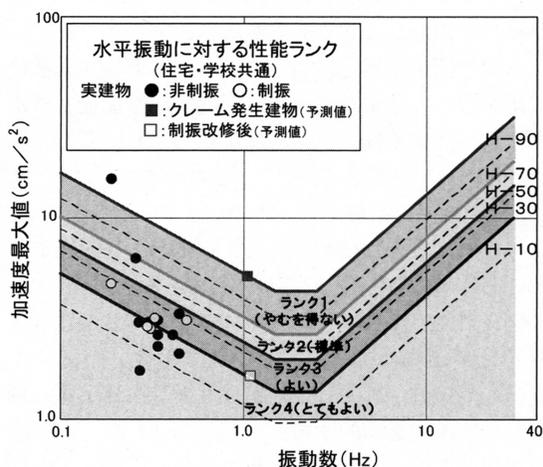


図-10 性能ランクと実建物の性能レベル

と制振時の設計目標値であるが、実測による評価結果を数例含んでいる。

おおむね H-30~H-50 を目標性能とした建築物が多く、性能ランクで読み替えると「よい」性能と評価されるランク3と「とてもよい」性能と評価されるランク4の境界程度に位置する。制振対策を行っていない建築物では、ランク1より悪い例もあるが、制振対策を行った建築物は、総じて「よい」性能と評価されるランク3以上のレベルを目標としている。既存の建築物の振動性能との関係からみても、本研究で提示した水平振動に対する性能ランクは妥当であると判断できる。

5. 性能ランクの使用事例

風揺れ評価を実施する場合には、このランクに対象となる建物の再現期間1年の加速度をプロットす

表-2 構造諸元

粗度区分	II (郊外)
基本風速 (m/s)	20
建物形状および寸法 (m)	矩形, アスペクト比 5 40 (B)×40 (D)×200 (H)
構造形式	S 造
一次固有周期 (秒), 減衰定数 (%)	4.0 (X, Y, θ_z) 1.0 (X, Y, θ_z)

ることで、風揺れの目標性能を日常で用いる平易な言葉で表現できる。

事例を表-2 に示す⁹⁾。建築物の特徴としては、S 造で、アスペクト比が 5 と比較的高い。また建設地が郊外と平均風速が高めであることから、風揺れが大きくなることが予想され風揺れのクライテリアを建築主と協議しておく必要があると判断される。

再現期間 1 年風速に対して風による応答加速度の算出を行った結果を図-11 に示す。応答加速度は水平振動に関する性能ランクに照らし合わせると「ランク 1 (やむを得ない)」ランクとなった。ランク 1 とは、知覚確率に換算すると 90% (H-90) 相当となる。この揺れの大きさは「ランク 2 (標準)」を超えていることから、建築主と協議が必要であると判断した。

図-11 を用いて、クライテリアを「ランク 2 (標準)」とする場合と「ランク 4 (とてもよい)」とする場合の対策方法、および対策コスト等を建築主に提示し性能説明を実施する。

風揺れの性能を平易な言葉で説明し、建築主と設計者が共通の認識で、目標性能を決定することを容易にすることが、本ランクの特徴である。

6. ま と め

日常的な振動源により水平振動が生じる建物における居住環境の良否を示す性能ランクについて、振動台を用いた被験者実験と性能ランクに関する意識調査を実施し、以下の知見を得た。

- ・水平振動の性能ランクのイメージを知覚確率で表現すると、ランク 3 (よい) は知覚確率 20~40% 程度、ランク 2 (標準) はランク 3 (よい) より 10%~20% 高いと考える人が多いことが示された。
- ・性能ランクの境界に相当する知覚確率を算出することにより、居住性能評価指針の性能評価曲線と同じ勾配の曲線で建物の水平振動の性能ラインを提示することができた。
- ・水平振動を対象とした場合、住宅あるいは学校を想定した性能ランクは、振動の物理量との関係に

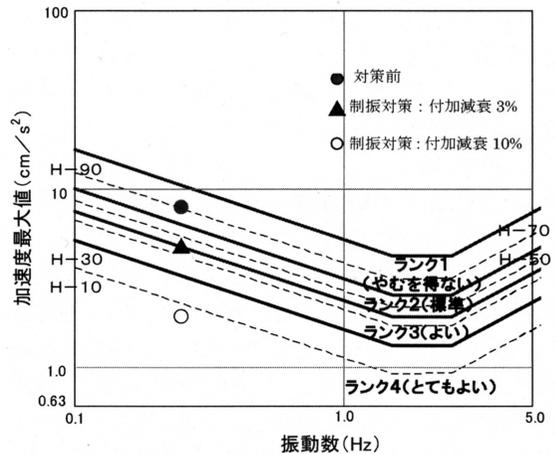


図-11 風揺れ評価結果

おいてほぼ等しく評価された。

実験における住宅や学校の区別はあくまで被験者がイメージしたものであるため、実環境における評価との違いが想定される上、これによる結果への影響もみられ、今後検討すべき点も残されている。

しかしながら本研究では、居住性能評価指針で明確にされていない標準ランクや望ましいランクを、居住者の価値意識に基づいて設定することができたものと考えている。

参 考 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 1 日)。
- 2) 石川理都子, 小泉達也, 橋本康則, 菊池正彦, 柏俣明子：居住者の価値意識に基づいた床スラブの上下振動性能ランク, 大林組技術研究所報, no. 72 (2008)。
- 3) 小泉達也, 石川理都子, 菊池正彦, 柏俣明子：居住者の価値意識に基づいた建築物の水平振動性能ランク, 大林組技術研究所報, no. 73 (2009)。
- 4) 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, vol. 74, no. 638, pp. 435-441 (2009.4)。
- 5) 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, vol. 75, no. 648, pp. 131-137 (2010.2)。
- 6) 石川孝重, 野田千津子他：床振動に関する居住者意識に基づいた性能ランクの設定—その 1—〜その 5—, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (環境工学 I), pp. 439-448 (2008 年 9 月)。
- 7) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説、第 4 版 (2004 年 9 月 15 日)。
- 8) 日本建築学会：環境振動性能設計ハンドブック, 初版 (2010 年 11 月 1 日)。