心理学的尺度の構成と歩行を対象とした評価方法の提示

各種動作時の快適性からみた上足床の変形性状の評価方法 その1

CONFIGURATION OF PSYCHOLOGICAL SCALES AND PRESENTATION OF
EVALUATION METHOD FOR WALKING

Evaluation methods of no-shoes-floor deformation properties considering comfortableness human behavior Part 1

福田 眞太郎^{*1}, 横山 裕^{*2}*Shintaro FUKUDA and Yutaka YOKOYAMA*

The final goal of our research is the establishment of evaluation methods of floor deformation properties considering comfortableness for various human behaviors. At the first, we defined the classification into walking and the others by floor deformation properties, based on the result of the sensory tests. At the next, we focused on human walking and examined evaluation methods of comfortableness for walking as the first step of our research. As the result, we defined that performance value compounding 2 factors about hardness and titubation of the floors can evaluate the comfortableness for walking.

Keywords : *no-shoes-floor, deformation properties, comfortableness, floor hardness, titubation, evaluation method*

上足床, 変形性状, 快適性, かたさ, 感触, 評価方法

1. はじめに

建築物の床は、人間が動作時に床に与える荷重に応じて、たわんだり、へこんだり、はね返ったりする。このような床の鉛直方向の変形性状は、心地よさ、動作のしやすさ、いたさなど、動作する人間の快適性に大きく影響する。

一方、我が国の住宅や高齢者施設、幼児施設などの床は、靴を脱いで使用する点が大きな特徴である。本研究では、これらの床を、靴を履いて使用する下足床と反対の意味で、“上足床”と呼ぶこととする。上足床では、足裏のみが床と接触する歩行だけでなく、腰を下ろす、座る、寝転がるなどの様々な動作が日常的に行われるため、床と接触する身体部位や、接触時の床および身体部位の挙動などは、著しく多様化する。しかし、これらの動作時の快適性からみた床の変形性状の評価方法は、十分整備されているとはいえない。

本報は、歩行を含む様々な動作時の快適性からみた上足床の変形性状の評価方法を体系的に整備するための第一段階として、各種動作時に感じる心地よさ、動作のしやすさ、いたさなどに関する官能検査を実施し、構成される心理学的尺度相互の関係を検討するとともに、かたさや感触に関する研究成果が比較的多く蓄積されている歩行を対象に、これらの研究成果をさらに発展させ、歩行時の快適性からみた変形性状の評価方法を確立した経過、結果を述べるものである。

2. 目的、範囲

本研究は、様々な動作が行われる上足床を対象に、快適性からみ

た床の変形性状の評価方法を動作ごとに確立し、体系的に整備することを最終的な目的とする。また、本報は、本研究の第一段階として、以下の2点を目的とする。

- 1) 上足床で行われる様々な動作の中から、床の変形性状を評価するうえで代表的な動作を選定する際の基礎的知見を得る。
- 2) 上足床で行われる様々な動作のうち、かたさや感触に関する研究成果が比較的多く蓄積されている歩行を対象に、2つの要因を複合した変形性状の評価方法を確立する。

本研究で対象とする動作は、上足床で一般的に行われる動作全般とする。また、評価の観点は、心地よさ、動作のしやすさ、いたさなど動作時の快適性とする。なお、高齢者施設で行われる介助動作や幼児施設で行われる遊戯動作など、特殊な動作を対象とした評価方法は、本研究で一般的な動作を対象とした評価方法を確立した後の課題とする。

本研究では、個々の上足床の具体的評価や、快適性の観点から優れた上足床の開発、設計などは、範囲外とする。

3. 既往の研究

小野ら^{1),2)}は、歩行、立位、腰降し、正座、横臥回転の5種の動作を対象に、動作時に感じる床のかたさの程度、およびかたさの適、不適などに関する官能検査を実施し、心理学的尺度を構成している。また、人間が歩行動作中の踵着地時に床に与える荷重を置換し、これと同等の荷重を与えた時の床の動的変形挙動を測定できる“床のかたさ測定装置”を開発している。さらに、装置による測定結果と

^{*1} 東京工業大学環境・社会理工学院建築学系
助教・修士(工学)

^{*2} 東京工業大学環境・社会理工学院建築学系 教授・工博

Assis. Prof., Dept. of Architecture and Building Eng., School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology, M.Eng.

Prof., Dept. of Architecture and Building Eng., School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.

心理学的尺度の関係に基づいて、床のかたさの定量的な評価方法を確立している。

小野らが確立した評価方法は、当時普及していた様々な材料、構法の床に適用可能であった。ところが、その後、清掃性、衛生性を維持しつつ軽量床衝撃音遮断性を向上させる目的で“遮音フローリング”が新たに開発され、集合住宅を中心に普及してきた。これらの床の中には、歩行時に「ぶよぶよする」、「ぐにゃぐにゃする」といった従来にはない特異な感触が生起され、踏み心地が著しく悪いものがある。しかし、小野らの評価方法には足裏で感じられる“感触”の要因が含まれておらず、これらの床を適切に評価できないことが判明した。

そこで、横山ら^{3),4)}は、小野らの方法では適切に評価できない床を判別する方法について検討した。具体的には、床のかたさ測定装置の一部を改良した“動的判別装置”を開発するとともに、床表面の変形を3次元で測定できるシステムを併用し、装置で荷重を与えた時の載荷面とその周囲の床表面の動的変形挙動を測定した。その結果、特異な感触の生起には、歩行動作中、踵が着地した後、動作が進行し土踏まずや足裏前半部が接地した時点で感じる床表面の傾きなどが大きく影響していることを明らかにし、装置による測定結果に基づいて評価が低下する床を判別する方法を確立した。

以上より、歩行に関しては、小野らが確立したかたさの評価方法と、横山らが確立した感触の影響で評価が低下する床の判別方法をあわせて適用することにより、かたさと感触の2つの要因がともに考慮された変形性状の評価が可能となった。しかし、この方法では、床のかたさ測定装置による測定と動的判別装置による測定をともに実施する必要がある。ここで、後者は前者を改良した装置であり、床に与える荷重は近似していることから、後者による測定結果のみに基づいて変形性状を評価できる可能性が高いと推察できる。また、横山らの判別方法は感触の影響による評価の低下の有無を判別するものであり、評価の低下度合いが連続的に考慮されているものではない。よって、本研究では、動的判別装置による測定結果のみに基づき、かつかたさと感触の2つの要因が連続的に複合された評価方法を確立することとする。

一方、歩行以外の動作に関しては、遮音フローリングを含む様々な変形性状の床を対象に、小野らおよび横山らの研究成果の適用の可否を検討することとする。

4. 研究方法

本報における研究方法および手順は、以下の通りである。

- 1) 上足床で行われる様々な動作の中から、床と接触する身体部位や、接触時の床と身体部位の挙動などが多様となるよう留意し、本報で対象とする動作を選定する。
- 2) 変形性状が異なる種々の試料床を製作して検査試料とし、検査員を用いて、試料床上で1)で選定した動作を行った時の快適性に関する官能検査を実施する。検査結果から、尺度構成理論⁵⁾にしたがって心理学的尺度を構成する。
- 3) 2)で構成した心理学的尺度相互の関係を検討し、上足床の変形性状を評価するうえで代表的な動作を選定する際の基礎的知見を得る。
- 4) 小野らが開発した床のかたさ測定装置、および横山らが開発した動的判別装置を用いて、2)で検査試料とした試料床の動的変形挙動を測定する。
- 5) 4)の測定結果と、2)で構成した心理学的尺度の関係から、小野ら

および横山らの研究成果の適用の可否を検討するとともに、歩行を対象に、かたさと感触の2つの要因が連続的に複合された変形性状の評価方法を確立する。

5. 各種動作時の変形性状に関する心理学的尺度の構成

5.1 対象動作の選定

上足床で一般的に行われる動作は、床と接触する身体部位の観点から、以下のように分類できる。

- ・足裏のみが接触する動作
歩行、立位
- ・おもに足裏以外が接触する動作
腰下ろし、立上り、座位（正座、体育座り、長座、あぐら）、臥位（仰向け、側臥位、うつ伏せ、肘立てうつ伏せ）、寝返り、膝歩き、膝立ち

また、動作中の動きの有無の観点からは、以下のように分類できる。

- ・動的な動作
歩行、腰下ろし、立上り、寝返り、膝歩き
- ・静的な動作（姿勢）
立位、座位（正座、体育座り、長座、あぐら）、臥位（仰向け、側臥位、うつ伏せ、肘立てうつ伏せ）、膝立ち

以上に列挙した各動作を整理して、表1に示す。本研究では、これらの動作全てを対象とするのが理想的ではあるが、官能検査の規模などを考慮すると現実的ではないことから、いくつかの動作を対象動作として選定することとした。

はじめに、足裏のみが接触する歩行と立位に関しては、動作時に感じるかたさ、感触からみた変形性状の評価がほぼ同様となることから横山ら³⁾により明らかとなっていることから、立位での評価は歩行で代替できるものと想定し、対象から除外することとした。

一方、おもに足裏以外が接触する動作に関しては、床と接触する身体部位の類似性などから、以下の事項が推察された。

- ・体育座り、長座、あぐらでは、いずれも臀部で感じるかたさ、感触が評価に大きく寄与する。このうち、かたさ、感触の差を最も感じやすいのは、臀部にかかる体重の割合が最も大きいあぐらである。
- ・側臥位、うつ伏せでの接触部位は、寝返りでの接触部位に包含されている。ここで、静的な動作（姿勢）である側臥位、うつ伏せより、動的な動作である寝返りの方が、かたさ、感触の差を感じやすい。
- ・膝歩きと膝立ちは、接触部位が一致している。ここで、静的な動作（姿勢）である膝立ちより、動的な動作である膝歩きの方が、かたさ、感触の差を感じやすい。

以上より、体育座り、長座での評価はあぐらで、側臥位、うつ伏せでの評価は寝返りで、膝立ちでの評価は膝歩きで、それぞれ代替できるもの想定し、対象から除外することとした。

最終的に選定した9種の対象動作を、表1に◎で示す。

表1 上足床で一般的に行われる動作の分類と本研究の対象動作

	床と接触する身体部位	
	足裏のみ	おもに足裏以外
動的な動作	歩行◎	腰下ろし◎、立上り◎、寝返り◎、膝歩き◎
静的な動作（姿勢）	立位	座位(正座◎、体育座り、長座、あぐら◎)、臥位(仰向け◎、側臥位、うつ伏せ、肘立てうつ伏せ◎)、膝立ち

◎：本研究で対象とした動作

表 2 官能検査の概要

尺度構成手法	系列範ちゅう法			
構成する尺度	心地よさ尺度	動作のしやすさ尺度	適性尺度	長期いたさ予測尺度
質問事項	この床は、かたさや感触の観点から、			この床は、長時間同じ姿勢をとり続けた場合、
判断範ちゅう	⑦非常に心地よい ⑥かなり心地よい ⑤やや心地よい ④どちらともいえない ③やや心地わるい ②かなり心地わるい ①非常に心地わるい	⑦非常に動作しやすい ⑥かなり動作しやすい ⑤やや動作しやすい ④どちらともいえない ③やや動作しにくい ②かなり動作しにくい ①非常に動作しにくい	⑦非常に適している ⑥かなり適している ⑤やや適している ④どちらともいえない ③やや不適である ②かなり不適である ①非常に不適である	⑦全く痛くならなさそうである ⑥…………… ⑤やや痛くなりそうである ④…………… ③かなり痛くなりそうである ②…………… ①非常に痛くなりそうである
動作	表1に示す9種の動作 (動的な動作は心地よさ尺度、動作のしやすさ尺度、適性尺度、静的な動作(姿勢)は心地よさ尺度、長期いたさ予測尺度を構成)			
検査試料	表3に示す26種の試料床			
検査員	成人男性10名(年齢21～53歳、身長168～184cm、体重53～99kg)			
履物および衣服	くつ下および長袖、長ズボンのジャージ			

5.2 心理学的尺度構成のための官能検査概要

5.1 で選定した9種の動作を対象に、官能検査を実施した。検査の概要を、表2に示す。以下に、おもな事項について説明を加える。

5.2.1 構成する尺度および尺度構成手法

構成する尺度は、表1に示す動的な動作に関しては、動作時に感じる心地よさの程度を表す“心地よさ尺度”、動作のしやすさの程度を表す“動作のしやすさ尺度”、および心地よさと動作のしやすさを勘案した総合的な適、不適の程度を表す“適性尺度”の3種とした。一方、静的な動作(姿勢)に関しては、前述の“心地よさ尺度”と、長時間同じ姿勢をとり続けた場合に予想されるいたさの程度を表す“長期いたさ予測尺度”の2種とした。

尺度構成手法は、系列範ちゅう法³⁾とした。判断範ちゅうは、表2に示す通りである。

5.2.2 検査試料

検査試料として、表面材、下地、および表面材と下地の間に挿入する緩衝材の組合せが異なる、26種の試料床を製作した。試料床の概要を表3に示す。表中、○で示す表面材、緩衝材、下地の組合せが、検査試料とした試料床を表す。

検査試料の設定にあたっては、以下の点に留意した。

- ・ 実在する、あるいは今後開発されると思われる種々の材料、構法の床の範囲を包含するよう、多様な変形性状を有する試料床群とする。
- ・ 検査員が所定の動作を行うのに十分な大きさとする。

表 3 試料床の概要

表面材		分類	直床			架構式床		
		下地	RCスラブ			パネル床 A ^{*2}	パネル床 B ^{*3}	乾式 二重床 ^{*4}
			無	UL 12mm厚	UL 24mm厚			
畳	畳42mm厚(イ草製畳表、建材畳床Ⅰ形 ^{*1})	○				○		○
	畳42mm厚(塩ビ製畳表、ポリウレタンフォーム製畳床)	○				○		
塩ビ系 長尺シート	クッションフロア ³ 3.0mm厚	○				○	○	○
	クッションフロア ³ 3.2mm厚	○						
	ヘテロニアスシート1.5mm厚	○	○					
カーペット	カットパイルカーペット5.0mm厚	○	○			○	○	○
フローリング	複合フローリング15mm厚	○				○	○	○
	遮音フローリング17mm厚(LL45相当)	○		○		○	○	○

*1：JIS A 5914

*2：大引：90×90mm@900mm、捨板：合板18mm厚

*3：大引：90×90mm@900mm、捨板：合板24mm厚

*4：東脚：@450mm(底ゴム：3mm厚、ショアA硬度65)、パネル：パーティクルボード20mm厚

*2～4：RCスラブ上に設置

UL：ポリウレタン系アンダーレイ

○：本研究で対象とした試料床

- ・ 検査員に疲労、倦怠を感じさせない試料数とする。

- ・ 検査期間中、変形性状が変化しない試料床とする。

試料床の大きさは、それぞれ900×3600mmとした。なお、動作位置により変形性状が異なる架構式の試料床では、動作位置を指定した。

5.2.3 検査員

検査員は、同様の刺激を対象とした横山ら³⁾の検査の結果、男女による判断の差はほとんどないことが明らかとなったことから、健康な成人男性10名(年齢21～53歳、身長168～184cm、体重53～99kg)とした。ここで、本検査では、高齢者や幼児なども対象とすることが望ましいが、危険がともなうなどの理由で現実的には困難なことから、検査は実施しないこととした。なお、高齢者や幼児などからみた評価は、健康な成人を対象とした検査結果から類推するのが、現段階では現実的な方法と考える。

5.2.4 履物および衣服

履物および衣服は、試料床との接触部位で感じる温冷感などの影響をできる限り排除する観点から、木綿製のくつ下、および長袖、長ズボンのジャージとした。

5.3 官能検査経過、結果および心理学的尺度の構成

5.2で述べた条件にしたがって、官能検査を実施した。検査は、検査員の疲労を考慮し、動作ごとに別々の日に実施した。1つの動作の検査に要した時間は、各検査員とも30～60分程度であった。また、試料床の提示順序は、検査員、動作ごとにランダムとした。検査の際、

検査員には、住居の居室などを想定して動作すること、床のすべりや温冷感など変形性状以外の要因は判断に入れないこと、疲れたらいつでも申し出ることを教示した。

表4に、検査員の回答の分散分析結果を示す。いずれの動作、検査項目でも、主効果の分散比が高度に有意となっており、かつ寄与率も大きいことから、検査試料による刺激に十分な差異があったこと、本検査自体が有効であることがわかる。一方、個人差の分散比も一部を除いて有意となっているが、いずれも寄与率が主効果と比較して十分に小さいことから、構成される尺度

表 4 分散分析結果

		歩行		腰下ろし		立上り		寝返り		膝歩き	
		分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率
心地よさ	主効果	9.61**	44.27%	16.78**	61.19%	11.14**	50.37%	29.61**	70.93%	26.81**	67.14%
	個人差	2.32*	2.44%	3.16*	2.68%	3.09*	3.32%	8.50**	5.95%	11.36**	8.63%
動作のしやすさ	主効果	7.60**	36.56%	11.87**	53.11%	5.71**	33.49%	19.70**	60.72%	16.07**	56.98%
	個人差	4.05**	6.08%	1.88	1.37%	1.10	0.23%	9.66**	9.01%	7.43**	7.78%
適、不適	主効果	8.97**	41.47%	13.13**	56.21%	8.79**	45.33%	29.92**	70.81%	21.69**	64.19%
	個人差	3.45**	4.59%	1.41	0.61%	1.24	0.44%	9.13**	6.37%	7.95**	6.90%

		正座		あぐら		仰向け		肘立てうつ伏せ	
		分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率	分散比	寄与率
心地よさ	主効果	15.22**	48.81%	18.55**	56.50%	22.22**	59.64%	23.65**	63.16%
	個人差	13.63**	15.61%	9.76**	10.15%	12.13**	11.25%	8.93**	7.96%
長期いたさ予測	主効果	16.04**	49.13%	14.70**	55.35%	22.93**	61.88%	23.46**	63.69%
	個人差	15.48**	17.03%	2.92*	2.79%	9.74**	8.88%	7.80**	6.94%

** : 危険率1%以下で有意
* : 危険率5%以下で有意

は、検査員間に内在する個人差を内包するものの、各検査試料の変形性状に対する平均的な判断を表す尺度として十分有効とみなすことができる。

以上より、尺度構成手法³⁾にしたがって、動的な動作5種×検査項目3種＝15種、および静的な動作(姿勢)4種×検査項目2種＝8種、計23種の心理学的尺度を構成した。

5.4 心理学的尺度相互の関係の検討

5.4.1 評価の観点による心理学的尺度相互の関係の検討

図1に、同一の動作で構成した3種(動的な動作の場合)または2種(静的な動作(姿勢)の場合)の尺度の関係の例を示す。図の(1)は歩行、(2)は腰下ろし、(3)は正座、(4)は仰向けの場合の尺度の関係を示したものである。図中、①～⑦で示す破線は、官能検査に用いた判断範ちゅう(表2参照)の尺度上の位置を表す。

図に示すように、(1)の歩行の場合、(2)～(4)と比較して、対応から外れている点がいっつかみられる。すなわち、評価の観点が異なる3種の尺度で、一部の試料床の序列が入れ替わっていることがわかる。このことは、試料床の動的変形挙動の測定結果から心理学的尺度と対応する物理的指標である“性能値”を設定する際、評価の観点ごとにそれぞれ異なる性能値を設定する必要があることを意味している。

一方、図の(2)～(4)に示す歩行以外の動作の場合、対応から外れている点は見当たらない。この結果は、他の動作でも同様であった。このことは、3種または2種の尺度のうちいずれか1つの尺度と対応する性能値を設定できれば、その性能値が他の尺度ともよい対応を示すことを意味している。

5.4.2 動作による心理学的尺度相互の関係の検討

図2に、異なる動作で構成した尺度の関係の例を示す。図の(1)は歩行と歩行以外の動作、(2)は歩行以外の動作間での尺度の関係を示したものである。図中の①～⑦の破線は、図1と同様である。

図に示すように、(1)の歩行と歩行以外の動作では、よい対応は得られておらず、試料床の序列が大きく異なることがわかる。この理由として、歩行時に床と接触する足裏と、歩行以外の動作時に床と接触する足裏以外の身体部位では、接触時の床および身体部位の挙動や、床の変形性状の感じ方が大きく異なることが考えられる。このことは、少なくとも歩行と歩行以外の動作では、床の動的変形挙動を測定する際の荷重条件を別々に設定しなければ、心理学的尺度と対応する性能値は設定できないことを示唆している。

一方、(2)では、(1)と比較してよい対応が得られており、歩行以外の動作間では、試料床の序列は大きくは変化していないことがわかる。この結果は、他の歩行以外の動作間でも同様であった。この

図1 評価の観点による心理学的尺度相互の関係の例

理由として、歩行以外の動作では、床と接触する身体部位は異なるものの、接触時の床および身体部位の挙動や、床の変形性状の感じ方に類似性があることが想定される。このことは、対象とした歩行以外の動作の中から1つの動作を選定し、この動作を置換した荷重条件で床の動的変形挙動を測定することにより、歩行以外のいずれの動作による心理学的尺度とも対応する性能値を設定できる可能性が高いことを示唆している。

図2 動作による心理学的尺度相互の関係の例

以上を要するに、本研究で選定した対象動作は、変形状を評価する観点から、足裏のみが接触する歩行と、おもに足裏以外が接触する歩行以外の動作の2種に分類できることが、明らかとなったといえる。この結果は、足裏が、日常生活において、比較的小さい面積で全体重を支えなければならない唯一の身体部位であり、歩行のように不安定な動作を安全かつ効率的に行うために、他の部位にはない特有な感覚機能が必要と思われる部位であることを考慮すると、理解しやすい。

6. 試料床の動的変形挙動の測定および既往の研究成果の適用性の検討

6.1 床のかたさ測定装置の概要

図3に、小野ら^{1),2)}が開発した床のかたさ測定装置の概要を示す。本測定装置は、質量40kgの重錘を減衰性の大きいゴムばね上に落下させ、荷重板(直径70mm)を介して床に所定の荷重を与えた時の載荷面の動的変形挙動を、装置に組み込んだ荷重変換器と、シャフト頂部に取り付けた変位変換器で測定するものである。重錘は、下端がゴムばね上端と接し、荷重変換器で測定される荷重が3.0kgfとなった位置から落下する。重錘落下前に床にかかる荷重は、この3.0kgfに荷重板、荷重変換器、受け板、ゴムばね、シャフトの自重6.5kgf

※床のかたさ測定装置と動的判別装置は、荷重板底面の形状および荷重板、受け板、ゴムばね、シャフトの材質が異なる

図3 床のかたさ測定装置および動的判別装置の概要^{1)~4)}

図4 歩行荷重の代表例と床のかたさ測定装置および動的判別装置が床に与える荷重^{2),4)}

を加えた9.5kgfである。

図4に、本測定装置が床に与える荷重を、歩行者が床に与える荷重(以降、「歩行荷重」と記す)の代表例と比較して示す。図は、ほぼ剛とみなせる床を用いて測定した鉛直荷重を示したものである。図より、破線で示す本測定装置の荷重は、実線で示す歩行荷重のうち、足裏と床の接触開始時点(図中a点)から、踵着地時に生じる極大値(b点)を経て、踏み出し動作への移行時に生じる極小値(c点)に至る部分と近似していることがわかる。

6.2 動的判別装置の概要

「ぶよぶよする」、「ぐにゃぐにゃする」といった特異な感覚が生起する床を判別するためには、床の動的変形挙動を、載荷面周囲への面的な広がりを含めて、軽微な荷重領域から把握する必要がある。横山ら^{3),4)}は、このような考えに基づいて、床のかたさ測定装置の一部を改良した動的判別装置を開発した。改良点は2点で、1点は、載荷面周囲の変形に大きく影響と思われる荷重板の底面形状を、平面から踵と近似した曲率を有する曲面に変更した。もう1点は、荷重板、受け板、ゴムばね、シャフトの材質を変更して軽量化し、荷重変換器とあわせた自重を3.0kgfとした。また、重錘は、下端がゴムばね上端と接し荷重変換器で測定される荷重が0.5kgfとなった位置から落下することとした。したがって、重錘落下前に床にかかる荷重は、3.5kgfとした。

本判別装置が床に与える荷重を、図4に一点鎖線で示す。図より、本判別装置による荷重が床のかたさ測定装置による荷重と近似していることがわかる。

図5 床のかたさ測定装置による測定結果の例²⁾

図7 動的判別測定装置による測定結果の例

図6 動的判別装置による測定状況⁴⁾

6.3 試料床の動的変形挙動の測定

6.1で述べた床のかたさ測定装置を用い、5.で官能検査に用いた試料床の動的変形挙動を測定した。なお、試料床上の測定点は、官能検査時の検査員の動作位置と整合するよう設定した。

図5に、床のかたさ測定装置で測定された荷重・時間曲線、変形・時間曲線と、荷重の立ち上がり時点から変形が最大に達する時点までの荷重・変形曲線の例を示す。ただし、荷重および変形の値は、床に荷重板、荷重変換器、受け板、ゴムばね、シャフトの自重がかかった状態を0としている。小野らは、図に示す測定結果のうち、

$U_F(\text{kgf} \cdot \text{cm})$: 変形が最大に達した時点までの変形エネルギー

$D_R(\text{cm})$: 変形が最大に達した後の最大復元量

$T_R(\text{s})$: 変形が最大に達した時点から最大復元量に達した時点までの復元時間

から(式1)にしたがって算出される T を、人間が感じる床のかたさの程度を表す性能値として設定している。

$$T = \log(U_F - 8 \cdot D_R \cdot D_R / T_R) \quad \dots (式1)$$

T は、値が大きいほど、その床はやわらかいと感ぜられることを表す。よって、本研究では、各試料床の測定結果から T を算出した。

つぎに、6.2で述べた動的判別装置を用い、試料床の動的変形挙動を測定した。図6に、測定状況を示す。図に示すように、本測定でも、シャフト頂部に取り付けた変位変換器で、載荷面中心(荷重板の中心)の変形を測定した。加えて、本測定では、カラーズプレーを用いて載荷面周囲の床表面にランダムに模様を付け、この模様を2台の高速度カメラで撮影した。撮影した画像を、2台のカメラによる画像の視差を利用して各点の変形を3次元で測定できるシステムを用いて解析し、載荷面周囲の床表面の変形を測定した。

図7に、動的判別装置で測定された荷重・時間曲線、変形・時間曲線と、荷重の立ち上がり時点から変形が最大に達する時点までの

図8 動的判別装置による載荷面中心および測定線上の変形の測定結果の例⁴⁾

荷重・変形曲線の例を示す。本報では、以降、図に示すように、変形が最大に達した時点点を“ D_{max} 時点”、および D_{max} 時点後に変形の復元量が最大に達した時点点を“ D_R 時点”と称する。各試料床の変形・時間曲線から、 D_{max} 時点、および D_R 時点における載荷面中心の変形を求めた。一方、載荷面周囲の変形については、図6に示すようにに載荷面中心から放射方向に測定線を設定したうえで、上記システムによる測定結果から、 D_{max} 時点、および D_R 時点における測定線上の変形を求めた。ここで、測定線は、官能検査時の検査員の動作方向と整合するよう設定した。したがって、載荷面は歩行者の踵の着地位置に該当し、測定線は土踏まずや足裏前半部の接地位置に該当する。図8に、 D_{max} 時点、および D_R 時点における、載荷面中心と測定線上の変形の例を示す。

横山らは、図に示す測定結果のうち、

$D_{max}(\text{mm})$: D_{max} 時点における載荷面中心の変形(すなわち変形の最大値)

$D_{R40}(\text{mm})$: D_R 時点における載荷面中心から40mmの位置の変形

$D_{R50}(\text{mm})$: D_R 時点における載荷面中心から50mmの位置の変形から算出される以下の2つの値に基づいて、特異な感触の影響で評価が低下する床を判別できることを明らかにしている。

$(D_{R40} - D_{R50})/10$: 土踏まずや足裏前半部が接地する D_R 時点で足裏全体で感じる床表面の傾き

$D_{max} - D_{R40}$: 踵が着地する D_{max} 時点で踵で感じる変形と、土踏まずや足裏前半部が接地する D_R 時点で足裏全体で感じる変形の差

以上の2つの値を、前者を横軸、後者を縦軸に取った判別図にプロットすることにより、評価の低下度合いを判別できる。図9に、横山ら⁴⁾が提示した判別図を示す。図の各点は、横山らが検討に用いた試料床によるものであり、黒の点は官能検査の結果感触の影響で評価が低下しなかった試料床、灰色の点は1範ちゅう程度低下した試料床、白の点は2範ちゅう程度低下した試料床による点である。図より、黒の点と灰色の点の境界として破線を、また灰色の点と白の点の境界として一点鎖線を得ることができる。すなわち、 $(D_{R40} - D_{R50})/10$ と

$D_{\max} - D_{R40}$ の測定結果が破線より上側にプロットされる床は評価が低下しない床、破線と一点鎖線の間にプロットされる床は1 範ちゅう程度評価が低下する床、一点鎖線より下側にプロットされる床は2 範ちゅう程度評価が低下する床と判別できる。よって、本研究では、各試料床の測定結果から $(D_{R40} - D_{R50})/10$ と $D_{\max} - D_{R40}$ を算出した。

6.4 既往の研究成果の適用性の検討

図 10 に、6.3 で算出した各試料床の $(D_{R40} - D_{R50})/10$ と $D_{\max} - D_{R40}$ を、図 9 に示した判別図にプロットした結果を示す。図中の破線、一点鎖線は図 9 と同一であり、破線より上側の点は●、破線と一点鎖線の間の点は●、一点鎖線より下側の点は○で示してある。すなわち、●で示す試料床は感触の影響で評価が低下しない床、●で示す試料床は評価が1 範ちゅう程度低下する床、○で示す試料床は評価が2 範ちゅう程度低下する床と判別されたことを意味する。

図 11 に、5.3 で構成した歩行の場合の適性尺度と、6.3 で算出した各試料床の T の関係を示す。図中の①～⑦の破線の意味は図 1、2 と同様であり、各点の記号●、●、○は、それぞれの試料床を図 10 にプロットして判別した結果にしたがっている。図より、●で示す点は上に凸なる対応を示しており、図に点線で示すように、対応の中心傾向を示す曲線が得られることがわかる。また、●で示す点是对应曲線より1 範ちゅう程度、○で示す点は2 範ちゅう程度評価が低下していることがわかる。この結果は、小野ら^{1),2)}および横山ら^{3),4)}と一致しており、既往のかたさの評価方法、および感触の影響で評価が低下する床の判別方法の適用性が確認できる。

一方、図 12 に、歩行以外の動作の場合の心理学的尺度と T の関係の例を示す。図に示すように両者は対応しておらず、5.4.2 で考察した通り、歩行時の荷重を置換した装置では、歩行以外の動作時の変形性状を適切に評価できないことが確認できる。なお、この結果は、腰降し、正座、横臥回転時に感じるかたさの適、不適も歩行時の荷重を置換した装置で評価できるとした小野ら^{1),2)}の結果と異なっている。この理由として、本報の試料床の中に、小野らの研究の後に普

及した遮音フローリングや、変形の大きい乾式二重床、パネル床が含まれていることが挙げられる。

7. 歩行の場合の変形性状の評価方法の提示

3. で述べた通り、歩行の場合を対象に、動的判別装置による測定結果のみに基づき、かつかたさと感触の2 つの要因が連続的に複合された評価方法について検討した。

はじめに、床のかたさ測定装置で測定されるかたさの程度を表す性能値 T を、動的判別装置による測定結果で代替する方法について検討した。具体的には、図 4 に示す通り2 つの装置による荷重が近似していることから、図 7 に示す動的判別装置による測定結果から床のかたさ測定装置で測定される U_F , D_R , T_R に相当する U_F' , D_R' , T_R' を求め、(式2)にしたがって T' を算出した。

$$T' = \log(U_F' - 8 \cdot D_R' \cdot T_R') \quad \dots (式2)$$

図 13 に、6.3 での測定結果から算出した各試料床の T と T' の関係を示す。図に示す通り、両者はよい対応を示しており、 T を T' で代替可能であることがわかる。

一方、特異な感触の影響による評価の低下度合いは、図 9 および図 10 より、判別図の右下側にプロットされる床、すなわち $(D_{R40} - D_{R50})/10$ が大きく $D_{\max} - D_{R40}$ が小さい床ほど、大きくなる傾向があると推察される。そこで、 $((D_{R40} - D_{R50})/10) / (D_{\max} - D_{R40})$ を用いて、評価の低下度合いを表す性能値の設定を試みることにした。具体的には、(式3)で算出される D の適用を検討した。

$$D = \{((D_{R40} - D_{R50})/10) / (D_{\max} - D_{R40})\} - 0.011 \quad \dots (式3)$$

ただし $D < 0$ の場合は $D = 0$ とする

(式3)は、図 9 および図 10 の破線と近似した(式4)で示す直線を基準とし、それより上側にある点は評価は低下しないとみなし一律に0 とする一方、下側にある点は $((D_{R40} - D_{R50})/10) / (D_{\max} - D_{R40})$ が大きくなるにしたがって評価が低下するとみなし、値が大きくな

図 9 感触の影響で評価が低下する床の判別図⁴⁾

図 10 $(D_{R40} - D_{R50})/10$ と $D_{\max} - D_{R40}$ の関係

図 11 歩行の場合の適性尺度と T の関係

図 12 歩行以外の動作の場合の心理学的尺度と T の関係の例

図 13 T と T' の関係

図 14 特異な感触の影響による評価の低下度合いと D の関係

表 5 重回帰分析結果

心理学的尺度	性能値	A_1	A_2	A_3	A_4
心地よさ尺度	Y_1	-3.951	-4.694	9.720	-358.9
動作のしやすさ尺度	Y_2	-1.459	-3.719	6.343	-289.3
適性尺度	Y_3	-3.583	-5.298	10.143	-322.5

図 15 歩行の場合の心理学的尺度と Y の関係

るよう設定したものである。

$$((D_{R40} - D_{R50})/10) / (D_{max} - D_{R40}) = 0.011 \quad \dots (式 4)$$

図 14 に、6.3 での測定結果から算出した各試料床の D を、数直線上にプロットして示す。図中の記号は、図 10 にしたがって分類したものである。図より、数直線上の●、●、○の分布範囲は明瞭に区別できることから、評価の低下度合いを D で表示できる可能性が高いことがわかる。

以上の検討結果に基づいて、 T' および D を用い、歩行の場合の心理学的尺度と対応する性能値を設定することとした。具体的には、心理学的尺度を目的変数、 T'^2 、 T' 、 D を説明変数とし、(式 5) に示す回帰式を仮定して、重回帰分析を行った。

$$Y = A_1 + A_2 \cdot T'^2 + A_3 \cdot T' + A_4 \cdot D \quad \dots (式 5)$$

ここで D : 目的変数

$A_1 \sim A_4$: 係数

(式 5) で、 T' について 2 乗と 1 乗の項を説明変数としたのは、図 11 に示すように床のかたさには最適値が存在することによる。

心地よさ尺度、動作のしやすさ尺度、適性尺度の 3 種の心理学的尺度ごとに重回帰分析を行った結果を、表 5 に示す。表に示すように、係数 $A_1 \sim A_4$ の値は心理学的尺度により異なっており、特に $A_2 \sim A_4$ の割合が異なることから、 T'^2 、 T' 、 D が寄与する割合が評価の観点ごとに異なっていることがわかる。この結果は、5.4.1 での考察内容と整合する。本研究では、以降、心地よさ尺度を目的変数とした場合の Y を Y_1 、動作のしやすさ尺度、適性尺度を目的変数とした場合の Y をそれぞれ Y_2 、 Y_3 とする。(式 6) ~ (式 8) に、 $Y_1 \sim Y_3$ の回帰式を示す。

$$Y_1 = -3.951 - 4.694T'^2 + 9.720T' - 358.9D \quad \dots (式 6)$$

$$Y_2 = -1.459 - 3.719T'^2 + 6.343T' - 289.3D \quad \dots (式 7)$$

$$Y_3 = -3.583 - 5.298T'^2 + 10.143T' - 322.5D \quad \dots (式 8)$$

また、心理学的尺度と、(式 6) ~ (式 8) にしたがって算出される $Y_1 \sim Y_3$ の関係を、図 15 に示す。図には、相関係数 r も示した。図より、 $Y_1 \sim Y_3$ が歩行の場合の変形状の性能値として十分適用可能であることがわかる。

なお、各回帰式から導出される T' の最適値は、心地よさ尺度が 1.035、動作のしやすさ尺度が 0.853、適性尺度が 0.957 であり、3 種

の尺度の中では動作のしやすさ尺度が最も小さく、逆に心地よさ尺度が最も大きく、適性尺度が中庸となっている。すなわち、動作のしやすさの観点から最適なかたさの方が、心地よさの観点から最適なかたさよりかたく、両者を勘案した適、不適の観点からはその中庸のかたさが最適となっていることがわかる。

以上より、本研究では、動的判別装置を用いて T' と D を測定し、 $Y_1 \sim Y_3$ を算出して図 15 と照合する方法を、歩行時の快適性からみた上足床の変形状の評価方法として提示する。

8. おわりに

上足床で行われる様々な動作時の快適性からみた床の変形状の評価方法を体系的に整備することを最終的な目的とし、その第一段階として、各種動作時に感じる心地よさ、動作のしやすさ、いたさなどの関係を定量的に検討するとともに、歩行時の快適性からみた変形状の評価方法について検討した本報の結論をまとめると、以下の通りである。

- 上足床で行われる動作は、変形状を評価する観点から、足裏のみが接触する歩行と、おもに足裏以外が接触する歩行以外の動作の 2 種に分類できることを明らかにした。また、歩行以外の動作間では、快適性からみた床の序列は大きくは変化しないことから、これらの動作の中から 1 つの動作を選定し、この動作を置換した荷重条件で床の動的変形挙動を測定することにより、各種動作による心理学的尺度と対応する性能値を設定できる可能性が高いことを明らかにした。
- 動的判別装置で測定される T' で、床のかたさ測定装置で測定されるかたさの性能値 T を代替できることを明らかにした。また、特異な感触の影響による評価の低下度合いを表す性能値として、動的判別装置による測定結果から算出される D を設定した。さらに、歩行時の心地よさ、動作のしやすさ、および両者を勘案した総合的な適、不適の程度を表す心理学的尺度と対応する性能値として、 T' 、 D から算出される $Y_1 \sim Y_3$ を設定した。以上より、動的判別装置を用いて T' と D を測定し、 $Y_1 \sim Y_3$ を算出して心理学的尺度との関係図(図 15)と照合する方法を、歩行時の快適性からみた上足床の変形状の評価方法として提示した。

以上であるが、歩行以外の動作を対象とした場合の評価方法については、次報で報告する予定である。

謝辞

試料床の作成にあたり種々御協力いただいた住宅メーカー並びに建材メーカーの関係各位に、謝意を表します。なお、研究費の一部に科学研究費補助金（基盤研究(B)，代表：横山 裕）を使用しました。

参考文献

1) 小野英哲，横山 裕，大野隆造：居住性からみた床のかたさの評価方法に関する研究，その 1 床のかたさに関する心理学的尺度の構成，日本建築学

会構造系論文報告集，第 358 号，pp.1-9，1985.12

- 2) 小野英哲，横山 裕：居住性からみた床のかたさの評価方法に関する研究，その 2 床のかたさ測定装置の設計・試作および床のかたさの評価指標，評価方法の提示，日本建築学会構造系論文報告集，第 373 号，pp.1-8，1987.3
- 3) 横山 裕，高橋宏樹，佐藤晋哉：感触の影響で評価が低下する床の判別方法の提示，動作時の適性からみた床の変形状の評価方法 その 1，日本建築学会構造系論文集，第 75 巻，第 658 号，pp.2087-2094，2010.12
- 4) 横山 裕，福田真太郎：感触の影響で評価が低下する床の動的判別方法の提示，動作時の適性からみた床の変形状の評価方法 その 2，日本建築学会構造系論文集，第 79 巻，第 701 号，pp.877-885，2014.7
- 5) J.P.Guilford，秋重義治訳：精神測定法，培風館，1969

CONFIGURATION OF PSYCHOLOGICAL SCALES AND PRESENTATION OF EVALUATION METHOD FOR WALKING

Evaluation methods of no-shoes-floor deformation properties considering comfortableness human behavior Part 1

Shintaro FUKUDA^{*1} and *Yutaka YOKOYAMA*^{*2}

^{*1} Assis. Prof., Dept. of Architecture and Building Eng., School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology, M.Eng.

^{*2} Prof., Dept. of Architecture and Building Eng., School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.

“No-shoes-floor” mean the floors that person takes off his shoes in the popular Japanese houses or elderly facilities, we define it in our research. Due to behavior (walking, sitting, lying, etc.) of person on no-shoes-floor, body regions that touch to surface of floors or motions at each body regions are more multifarious than western style living. The final goal of our research is the establishment of evaluation methods of floor deformation properties considering comfortableness human behavior. We focused on human walking and examined evaluation methods of comfortableness for walking as the first step of our research.

The final goal of our research is the establishment of evaluation methods of floor deformation properties considering comfortableness human behavior. We focused on human walking and examined evaluation methods of comfortableness for walking as the first step of our research.

At the First, we selected typical 26 floors that have variety of deformation properties that are defined by our research. Using these floors, sensory tests had been carried out about comfortableness during various motions on the non-footwear floors, and psychological scales had been constructed using the test results. Then, the following 2 results were found due to examination of mutual relationships of the scales.

1) From a viewpoint of the evaluation about the comfortableness, the motions on no-shoes-floor are classified into 2 types.

One is walking which only sole is in contact the floor surface during, and the other is various motions except walking.

2) The feelings of comfortableness about the various motions except walking are alike. Then, if a performance value corresponding to the psychological scale about a motion is set, this can also evaluate the comfortableness during the others various motions except walking.

At the Next, we execute evaluation method of floor hardness and dynamic discrimination method those typical evaluation method for human comfortableness. However these previous methods are complicated. So we tried to define the evaluation method which is more simple and appropriate than the previous method. In addition, the new method is able to measure the more detailed data. We call it as “evaluation method of floor deformation properties” (for walking).

The evaluation method of floor deformation properties are constructed from the following 2 factors. These factors are measured by our developed machine that can reproduce loading condition of simulated walking action.

T : performance value intends floor hardness

D : performance value intends degree of decline of evaluation by titubation on floors

And, it was found that $Y_1 \sim Y_3$ as the performance values calculated from compounding these 2 values are able to correspond to the psychological scales about the comfortableness for walking on the floors. Then, we presented the evaluation method for walking; the method is measuring $Y_1 \sim Y_3$ by using device which can reproduce loading condition of simulated walking action, and applying to relationship diagram between the performance values and psychological scales.

The evaluation methods for the other actions will develop in next paper.

(2016年1月5日原稿受理, 2016年5月16日採用決定)