

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360225

研究課題名(和文) 歩行感からみた床の動的変形挙動の測定，評価方法の確立

研究課題名(英文) Evaluation method of dynamic deformation properties of floors from a viewpoint of walking comfort

研究代表者

横山 裕 (YOKOYAMA, YUTAKA)

東京工業大学・理工学研究科・教授

研究者番号：00231689

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,800,000円

研究成果の概要(和文)：人間の動作時に生じる床の変形は、歩行感などを大きく左右する。近年普及した遮音フローリングなどの中には、特殊な感触の影響で足触りが著しく悪いものがあり、従来の方法では適切に評価できない。そこで、歩行時と近似した動的荷重を与えた時の床の変形の面的な広がりやその時間変化を軽微な荷重領域から測定できる感触測定装置を開発し、歩行感との関係を検討した結果、特殊な感触が生起されるメカニズムに忠実な、動的変形挙動の測定、評価方法を確立した。また、木質系直貼り床を対象に、簡便な物性試験で測定される変形特性と、かたさ、感触、床衝撃音遮断性などとの関係を検討し、複数の性能を両立した床の開発に寄与する知見を提示した。

研究成果の概要(英文)：Some floors developed recently from a viewpoint of reducing noise of impact, make people feel wrong by particular foot touching. These floors were good by previous evaluation method but were considered to be inferior. First, dynamic deformation properties were measured by discrimination equipment developed to observe early stage of weight. As a result, reason of inferiority was inclination of floors nearby point of touching heel, difference of deformation between point of touching heel and surrounding it, and restoring deformation. Then, we present discrimination method of floors been inferior by compounding those factors. Next, after selecting several wooden floor coverings as a subject, performance values of hardness, foot touching, floor impact sound insulation are measured. Based on the relationship between each performance value and the vertical deformation property, the significant knowledge to develop the balanced floor to plural contradictory performance items are obtained.

研究分野：建築構造・材料

キーワード：床 変形性状 歩行感 床衝撃音 評価方法

1. 研究開始当初の背景

床は、建築物内の人が絶えず触れていることから、建築物使用者の日常の安全性や居住性に最も大きく影響する建築部位である。居住性の観点から床に要求される性能は多岐に渡るが、なかでも動作した本人が感じるかたさや感触、転倒衝突時の安全性、キャスター・車椅子の走行性、さらには下階への床衝撃音遮断性は、いずれも床の鉛直方向の変形挙動に起因している点で共通している。しかし、これらの性能のうち、床衝撃音遮断性以外については、妥当な性能評価方法は国内外を通して確立されていなかった。また、床衝撃音遮断性についても、「軽量床衝撃音」、「重量床衝撃音」といった標準的な衝撃源が規格化されていたものの、実際に問題となる事例が最も多い歩行による床衝撃音を直接再現する方法は確立されていなかった。

このような状況の中、研究代表者らは、はじめに、各種動作時に感じる床のかたさについて種々検討し、人間のかたさ感覚には、動作中の着地時に床が吸収する変形エネルギーと、その後の床のはね返りがおもに影響していることを明らかにした。また、歩行の着地時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、装置による測定結果と人間のかたさに対する評価との関係から、動作時の適性、および長時間動作し続けた場合の疲労の観点からの床のかたさの評価方法を確立した。

続いて、研究代表者らは、歩行時に発生する床振動について検討し、当該振動が、着地初期の踵の先端が床と衝突する際の衝撃により励起される床の固有振動数での減衰振動と、その後の着地から蹴り出しにかけての荷重の増減に応じた動的変形が複合された、複雑な挙動を示すことを明らかにした。また、このような複雑な振動に対する人間の感覚、評価には、着地時の動的変形の大きさと、その後の減衰振動の続き具合がおもに影響していることを究明した。さらに、上述の踵衝撃を再現できる「衝撃的加振器」や、人体の振動特性を置換した「受振器」を開発し、これらの装置で歩行時の床振動を再現できることを検証したうえで、気になり具合、差し障り具合の観点からの床振動の評価方法や、苦情発生の有無の判別方法などを確立した。

さらに、研究代表者らは、歩行時の床衝撃音はおもに上述の踵先端と床との衝突の際の衝撃により励起されることを明らかにし、「衝撃的加振器」による加撃時と人間の歩行時の床衝撃音を、音圧レベルと人間の感覚の両側面から比較した。その結果、衝撃的加振器で歩行時に発生する床衝撃音を再現できること、特に、この装置は、衝撃源としての人体の特性を置換していることから、床の質量や仕上げ材の緩衝作用などによる衝撃力の変化、すなわち床衝撃音の変化も再現できることを明らかにした。

以上に述べた研究代表者らの一連の研究

の結果、歩行時のかたさ、および床衝撃音遮断性については、ともに歩行時と近似した荷重条件下で測定される動的変形挙動に基づいた評価方法が確立された。また、この間、研究代表者を含むグループの研究により、転倒衝突時の安全性や、キャスター・車椅子の走行性からみた床の変形挙動の評価方法も確立された。

一方、その後、住宅を中心に、軽量床衝撃音遮断性向上の観点から表面を従来以上にやわらかくした床が、急速に普及してきた。これらの床では、動作した際従来の床にはない「ぶよぶよする」、「ぐにやぐにやする」といった特異な感触が感じられ、その影響で歩行感が著しく低下する点が大きな問題となっている。しかし、このような特異な感触が生起される床での歩行感は、上述のかたさの評価方法をはじめ、研究代表者らがこれまでに確立した方法だけでは適切に評価できない状況であった。

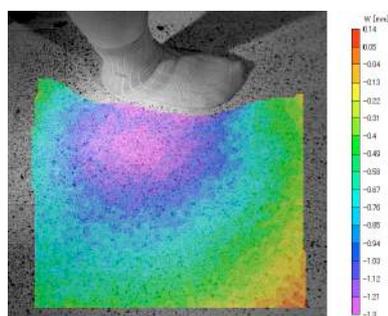
2. 研究の目的

本研究は、かたさに表面の感触の要因が加味された“歩行感”の評価方法を確立することを目的とする。また、歩行感とともに床の変形挙動が影響する床衝撃音遮断性、さらには転倒衝突時の安全性やキャスター・車椅子の走行性を対象に、これらの性能と床の変形特性との関係を体系的に整理し、いずれの観点からも要求性能を満たすバランスの取れた床を開発するための知見を提示することも目的とする。

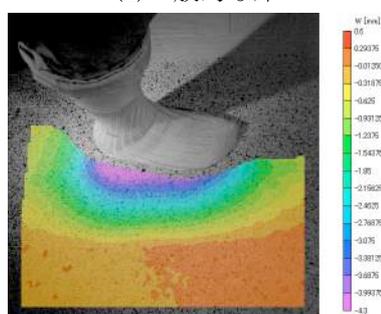
研究代表者らは、これまでに、予備的検討として、従来からある一般的な床と、特殊な感触が生起される床を対象に、歩行時の床表面の動的変形挙動を測定した。測定には、2台のカメラで撮影した画像の視差を利用することにより、床の変形を面的かつ動的に把握できるシステムを用いた。その結果、特異な感触が生起される床では、一般的な床と比較して、着地した際の変形量が同程度でもその後荷重が減少した際の復元量が小さいこと、および図1に示すように足が接触している部分の変形量が同程度でもその周辺への変形の面的な広がり小さいことが明らかとなった。今後、このような変形挙動が特異な感触につながるメカニズムを究明する必要があるが、そのためには、着地初期の微少荷重領域における変形挙動をより詳細に検討する必要があることが想定された。また、この微少荷重領域での変形挙動は、床衝撃音にも大きく影響することが予想された。

そこで、本研究では、高速度カメラを用いて着地初期の微少荷重領域を含む床表面の変形挙動を詳細に検討し、その結果に基づいて特異な感触が生起されるメカニズムを把握するとともに、研究代表者が確立した床のかたさの評価方法とあわせて、歩行感からみた床の評価方法を確立する。また、研究代表者らが開発した歩行時の床衝撃音を再現で

きる「衝撃的加振器」や、JIS に規定された衝撃源を用いて発生する床衝撃音を測定するとともに、転倒衝突時の安全性や、キャスター・車椅子の走行性に関する性能値を測定し、別途簡便な物性試験により把握される床の変形特性との関係を体系的に整理することにより、技術的に両立困難とされている複数の性能をバランスよく満たす床を開発するための知見を提示する。



(1)一般的な床



(2)特異な感触が感じられる床

図1 変形の面的な広がり比較

3. 研究の方法

本研究の研究方法を以下に示す。

- ①特異な感触が生起される床を含む 40 種類の床を、試料床として製作する。試料床の選定にあたっては、かたさや感触など歩行感に影響すると思われる各要因の観点から多様な試料床群とすること、実在する、あるいは今後開発されると考えられる様々な材料、構法の床を包含する試料床群とすることなどに留意する。
- ②10 名程度の検査員を用い、①で製作した試料床を検査試料として、各試料床上で歩行した際の適、不適に関する判断を求める官能検査を実施する。検査結果から、精神測定法の尺度構成理論を適用して、歩行感に関する心理学的尺度を構成する。
- ③研究代表者らが開発した「床のかたさ測定装置」を改良することにより、歩行時の床の動的変形挙動を着地初期の軽微な荷重領域から測定できる「感触測定装置」を開発する。
- ④2 台のカメラで撮影した画像の視差を利用することにより床の変形の面的な広がりとその時間変化を把握できるシステムを用い、①で製作した試料床を対象に、③で

開発した「感触測定装置」で荷重を与えたときの床表面の動的変形挙動を測定する。測定には、高速度カメラを用い、1/1000s の現象を詳細に把握する。

- ⑤④で詳細に把握した微小荷重領域を含む床表面の動的変形挙動と、②で構成した心理学的尺度との関係を種々検討し、特異な感触が生起されるメカニズムを把握するとともに、感触の影響で歩行感が低下する床の判別方法を確立する。
- ⑥研究代表者らが既往の研究で確立した床のかたさの評価方法と、⑤で確立した感触の影響で歩行感が低下する床の判別方法をあわせて、歩行感からみた床の動的変形挙動の評価方法を確立する。
- ⑦対象とする床の材料、構法を現在住宅などで最も普及している直貼り木質系床に限定したうえで、材料特性や層構成などに起因する変形特性が種々異なる 30 程度の試料床を新たに選定する。
- ⑧⑦で選定した試料床を対象に、かたさ、感触、転倒衝突時の安全性、キャスター・車椅子の走行性、および床衝撃音遮断性に関する性能試験をそれぞれ実施し、性能ごとに各試料床の性能値を測定する。
- ⑨床の変形特性を簡便に把握できる静的試験方法を考案したうえで、⑦で選定した試料床の変形特性を把握する。その際、二次元レーザ変位計で所定の測定線上の変形曲線を簡便に測定できるシステムを用い、変形の面的な広がりや載荷面からの距離とともに把握する。
- ⑩⑧で測定した性能値と、⑨で把握した変形特性との関係を種々検討し、どの程度の荷重領域における、載荷面からどの程度の位置での変形がそれぞれの性能に寄与しているかを明らかにしたうえで、複数の要求性能を満たすバランスの取れた床を開発するための知見として提示する。

4. 研究成果

3. で述べた研究方法にしたがって、はじめに、様々な材料、構法の床 40 種を試料床として設定し、これらを検査試料として、検査員に歩行時に感じるかたさ、感触の適、不適に関する判断を求める官能検査を実施した。検査は、系列範ちゅう法で実施した。検査員は成人男女 10 名(19~44 歳)とし、履物はくつ下とした。検査結果に基づき、尺度構成理論にしたがって、各試料床の適、不適の程度を定量的に表す心理学的尺度(以降“適性尺度”と記す)を構成した。

つぎに、研究代表者らが開発した床のかたさ測定装置を用いて、各試料床を対象に、人間のかたさ感覚と対応する性能値 T を測定した。図 2 に、装置の概要を示す。本装置は、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動的荷重を与えた時の、床の変形を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 3kgf 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 3kgf 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 を加えた 9.5kgf である。

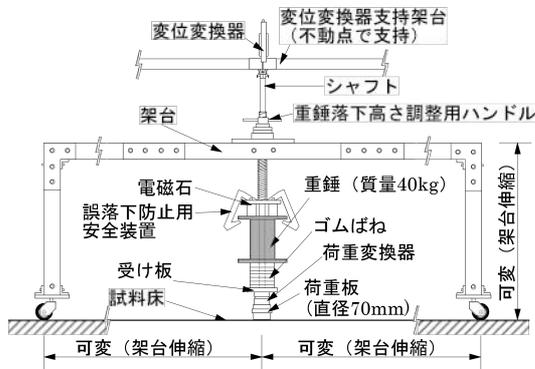


図2 床のかたさ測定装置の概要

図3に、本装置で測定される荷重・時間曲線、変形・時間曲線、および変形が最大に達するまでの荷重・変形曲線の例を示す。かたさの性能値 T は、図に示す床の変形が最大に達した時点までの変形エネルギー U_F と、変形が最大に達した後の最大復元量 D_R 、および復元に要する時間 T_R から、(1)式にしたがって算出される。

$$T = \log(U_F / 9.8 - 8 \cdot D_R \cdot D_R / T_R) \quad \dots (1)$$

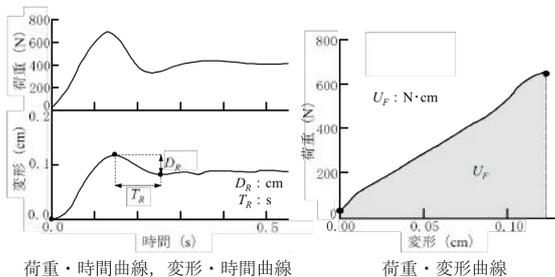


図3 床のかたさ測定装置による測定結果の例

図4に、官能検査結果に基づいて構成した適性尺度と T の関係を示す。図中、①～⑦の波線は、検査に用いた判断範ちゅうの尺度上の位置を表す。また、記号の形状は、試料床の表面材の種類により分類したものである。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。一方、■, ●, ▲で示す点は、対応曲線より1範ちゅう程度評価が低下している。また、△で示す点は、2範ちゅう程度評価が低下している。これらの試料床では、「ぶよぶよする」、「ぐにやぐにやする」といった特異な感触が感じられたことが、官能検査時の検査員の感想などから確認された。

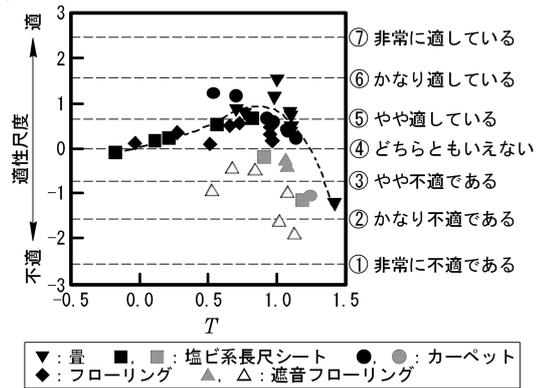


図4 適正尺度と T の関係

続いて、図2に示した床のかたさ測定装置の一部を改良することにより、感触測定装置を開発した。具体的には、より軽微な荷重領域からの変形挙動を測定できるように、荷重板、受け板、シャフトを軽量なものに交換した。この結果、荷重変換器、ゴムばねを加えた自重は、2.0kgf となった。また、重錘は、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 となった。一方、荷重板については、底面の形状が軽微な荷重領域からの変形挙動に大きく影響すると思われたことから、床のかたさ測定装置が平面であるのに対し、人間の踵部と近似した曲面形状を有するものに変更した。

開発した感触測定装置を用いて、各試料床の動的変形挙動を測定した。図5に、測定状況を示す。図に示すように、床の変形の面的な広がりを把握する目的で、カラスプレーを用いて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することにより、床表面上の各点の変形を測定できるシステムを併用した。カメラの撮影コマ数は毎秒 2000 コマとし、撮影範囲は約 500 × 400mm とした。

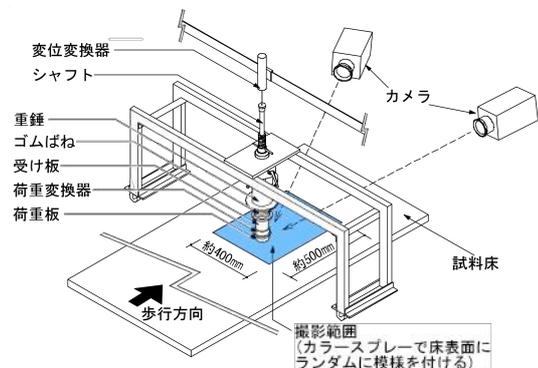


図5 感触測定装置による測定状況

図6に、装置の変位変換器で測定された変形・時間曲線の例を示す。この曲線は、荷重板が床と接触している載荷面の中心の変形を表す。図中、(1)は感触の影響で評価が低下

しない試料床、(2)は低下する試料床での測定結果の例である。図より、曲線の形状や最大変形量 D_{max} に対する最大復元量 D_R の割合などが異なっていることがわかる。

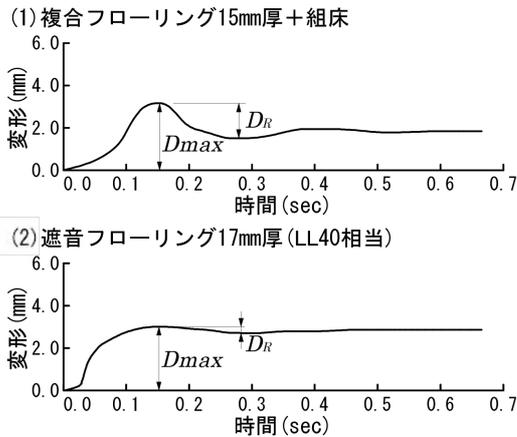


図6 感触測定装置による測定結果の例

一方、図7に、カメラを用いたシステムで測定された変形の面的な広がり例を示す。図は、載荷面中心の変形が D_{max} に達した時点のもので、 D_{max} は同程度でも、(1)では載荷面を中心に比較的広い範囲に変形がおよんでいるのに対し、(2)ではその範囲が狭く局部的に変形していることがわかる。

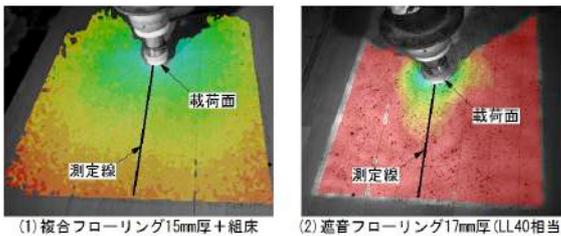


図7 床表面の変形の測定結果の例

床表面の変形の測定結果から、図7に直線以示すように、踵の着地位置に該当する載荷面より検査員の足の向きに測定線を設定し、この測定線上の各点の変形を試料床ごとに求めた。ここで、測定線は、載荷面の中心を通るように設定した。図8に、結果の例を示す。図は、重錘落下前の変形を0としたうえで、載荷面中心と、測定線上の載荷面中心より40~300mmの範囲内の各点の変形を示したものである。図中、太線は載荷面中心の変形が最大に達した時点(D_{max} 時点)での変形を表し、細線は変形の復元量が最大に達した時点(D_R 時点)での変形を表す。

以上に述べた一連の測定結果に基づき、感触の影響で評価が低下する床の特徴について、歩行中の足裏の接地状況やその時間変化などとの整合を図りながら詳細に検討した。その結果、特異な感触の生起には、

1)着地した時点(D_{max} 時点に該当)で踵で感じる載荷面中心の変形と、その後動作が進行し足裏全体が接地した時点(D_R 時点に該当)で土踏まずなど感じる載荷面近傍の変形の差

2) D_R 時点で土踏まずなど感じる載荷面近傍の床面の傾きが大きく影響していることが考察された。そこで、これらの要因と対応する定量的指標について種々検討した結果、1)と対応する指標として $D_{max}-D_{R40}$ 、2)と対応する指標として $(D_{R40}-D_{R50})/10$ を抽出した。ここで、 D_{R40} 、 D_{R50} は、 D_R 時点における載荷面中心より40、50mmの位置での変形を表す。

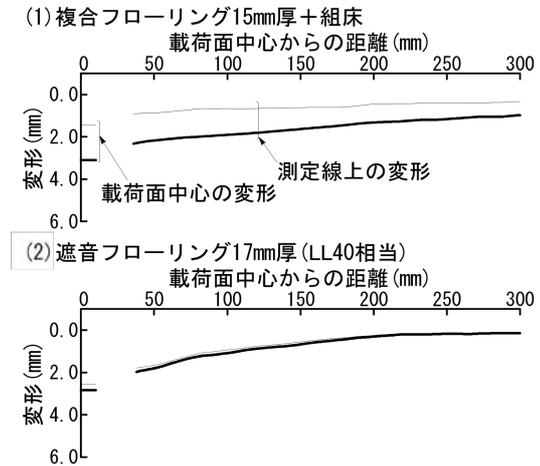


図8 載荷面中心および測定線上の変形の例

各試料床の測定結果から $D_{max}-D_{R40}$ および $(D_{R40}-D_{R50})/10$ を算出したうえで、前者を縦軸、後者を横軸とする平面上にプロットした結果を、図9に示す。図より、▼、■、●、◆で示す点と■、●、▲で示す点、および△で示す点の分布範囲は比較的明瞭に区別でき、図中点線で示す境界線を設定できることがわかる。以上より、床のかたさ測定装置で T を測定するとともに、感触測定装置で $D_{max}-D_{R40}$ 、 $(D_{R40}-D_{R50})/10$ を測定し、図と照合して評価の低下度合いを判別する方法を、歩行感の評価方法として提示した。

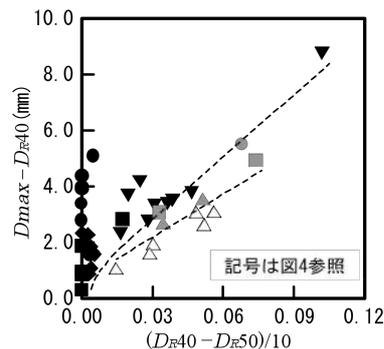


図9 $D_{max}-D_{R40}$ と $(D_{R40}-D_{R50})/10$ の関係

さらに、本研究では、現在住宅などで最も普及している直貼り木質系床を対象を絞ったうえで、歩行時のかたさ、感触、転倒衝突時の安全性、キャスター・車椅子の走行性および床衝撃音遮断性の5つの性能の観点からバランスの取れた床を開発するための簡便な手法について検討した。はじめに、本検討に用いる試料床として27種の直貼り木質系

床を選定したうえで、以下の要領で各性能値を測定した。なお、キャスター・車椅子の走行性については、紙面の都合により省略する。

- ・歩行時のかたさ：上述の T を測定した。
- ・歩行時の感触：上述の感触測定装置を用い、かたさの評価の低下度合いを判別した。
- ・転倒衝突時の安全性：JIS A 6519 にしたがって床上に頭部モデルを落下したときの最大加速度 G_s を測定した。 G_s は、小さい程安全性が高いことを表す。
- ・床衝撃音遮断性：JIS A 1418-1 にしたがって、軽量床衝撃音遮断性の水準を表す L_L を測定した。 L_L は、小さい程床衝撃音遮断性が高いことを表す。

つぎに、各試料床の変形特性をできるだけ簡便な方法で把握することを目的とし、図10に示す静的载荷装置を用いた試験方法を考案した。この装置は、上述の感触測定装置のゴムばねを金属ばねに変更したものである。本装置の重錘を徐々に降下させて床に0~40kgfの静荷重を载荷したときの载荷面中心の変形を変位変換器で、周囲に設定した測定線上の変形を二次元レーザ変位計で測定した。

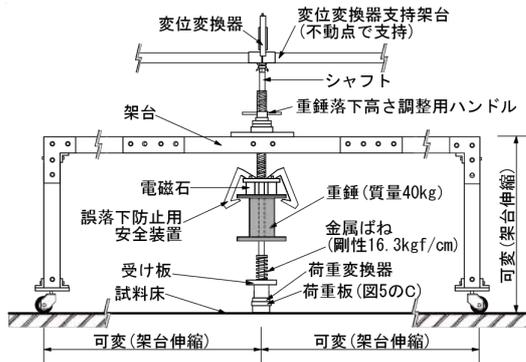


図10 静的载荷装置の概要

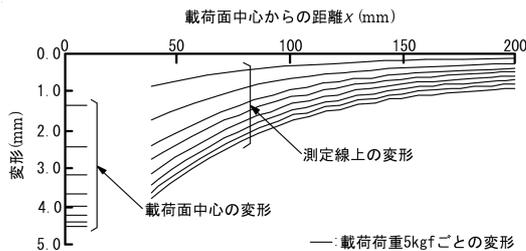


図11 静的载荷装置による測定結果の例

図11に、測定結果の例を示す。図は、載荷荷重5kgfごとの載荷面中心と周囲の測定線上の変形を示したものである。本報では、以降、 L kgf 载荷時の載荷面中心から x mm の位置での変形を、 $L D_x$ (単位: mm) と記すこととする。この静的载荷試験結果から、上述の各性能値を代替する物性値の抽出を試みた。その結果、

- ・歩行時のかたさ：(2)式で算出される T^* が、 T とよい対応を示した。

$$T^* = 40D_0 - 15D_0 \dots (2)$$
- ・歩行時の感触：(35)式で算出される G_s^* が、判別結果とよい対応を示した。
- ・転倒衝突時の安全性：(3)式で算出される G_s^* が、 G_s とよい対応を示した。

$G_s^* = \{(10D_0 - 5D_0) / (40D_0 - 35D_0)\} / 40D_0 \dots (3)$
 ・床衝撃音遮断性：(4)式で算出される L_L^* が、 L_L とよい対応を示した。

$$L_L^* = 15D_0 - 5D_0 \dots (4)$$

図12に、各性能に関する性能値と静的载荷試験による物性値の関係を示す。以上に述べたように、どの程度の荷重領域におけるどの位置の変形が各性能に寄与しているかが明らかとなり、各性能のバランスの取れた床の開発に貢献する有効な知見が得られた。

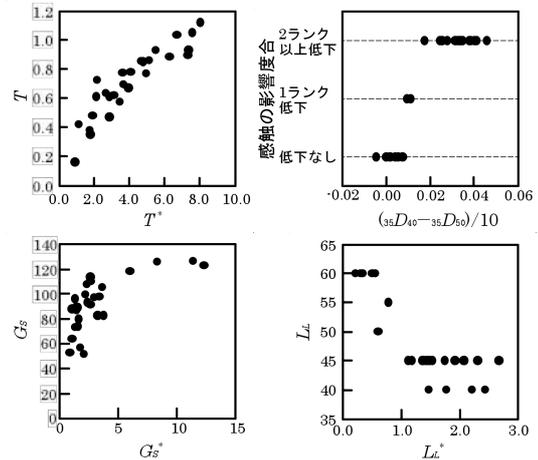


図12 性能値と物性値の関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 横山 裕, 福田眞太郎：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性状の評価方法(その2)，日本建築学会構造系論文集，査読有，第79巻，第701号，pp.877-885，2014年7月

[学会発表] (計10件)

- ① 横山 裕, 福田眞太郎：感触の影響で変形性状の評価が低下する床の判別方法の提示，その4 感触が生起されるメカニズムに忠実な動的判別方法の提示，日本建築学会大会，2014年9月13日，神戸大学(兵庫県・神戸市)
- ② 横山 裕, 福田眞太郎：感触の影響で変形性状の評価が低下する床の判別方法の提示，その3 変形性状の空間特性に基づく判別方法の検討，日本建築学会大会，2013年9月1日，北海道大学(北海道・札幌市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横山 裕 (YOKOYAMA YUTAKA)
 東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
 研究者番号：00231689

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし