

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	居住性からみた建築物床のかたさおよび鉛直方向の振動の評価方法に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	横山裕
Author(English)	YUTAKA YOKOYAMA
出典(和文)	学位:工学博士, 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第1934号, 授与年月日:1988年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小野英哲
Citation(English)	Degree:Doctor of Engineering, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第1934号, Conferred date:1988/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

居住性からみた建築物床のかたさおよび鉛直方向の振動の
評価方法に関する研究

東京工業大学大学院 理工学研究科 建築学専攻
博士後期課程 小野研究室 5088

横山 裕

謝 辞

本論文は、昭和62年度博士論文として昭和58年から5年間にわたって行った研究の成果をまとめたものである。

研究を行うにあたり、研究の必要性を教示していただきとともに、研究の方向づけから実際の実験にいたるまで終始一貫して的確な御指導をいただき、さらに公私にわたり常に暖かい激励を賜りました恩師、東京工業大学教授小野斐哲先生に、心から感謝いたします。

また材料・生産系びミの場を中心として、東京工業大学教授仕入豊和先生、同教授小池迪夫先生、同助教授田中享二先生に、御指導、御便達をいただきました。さらに論文をまとめるにあたり、東京工業大学教授鈴木敏郎先生に、貴重な御意見をいただきました。深く感謝いたします。

また研究の遂行にあたっては、吉岡丹先生（東京工業大学名誉教授、日本工業大学教授）、川村清志先生（日本工業大学講師）に種々御配慮いただきました。さらに大野隆造先生（元東京工業大学助手、現神戸大学助教授）、三上貴正先生（東京工業大学助手）、地濃茂雄先生（東京工業大学助手）、橋田浩先生（東京工業大学助手）をはじめ、多くの先生方に貴重な御教示、御意見をいただきました。厚く御礼申し上げます。

また卒業研究として実際に検査、実験に協力していただきました岡田雅照君、黒沼光好君、関口裕嗣君、佐川和則君、佐藤孝行君（5名とも日本工業大学卒論生）、検査などに協力いただきました東京工業大学小野研究室の諸先輩方および後輩諸氏、研究方法、成果、成果の適用性などについて討論していただきました櫛田裕氏、広松猛氏をはじめとする竹中工務店技術研究所振動研究グループの皆様、

謝意を表します。

最後に、検査員あそいは被験者として心よく御協力いただきました多くの方々に感謝して、謝辞といたします。

梗概

建築物床に要求される性能のうち、人間の動作により生じる床の鉛直方向の挙動から感じられるかたさと振動は、居住性の観点から重要な性能といえる。本論文は、歩く、立つなど日常的な動作に供する床全般を対象に、床のかたさおよび鉛直方向の振動の居住性からみた評価方法を究明した成果をとりまとめたものであり、5章から成っている。

「第1章 序論」では、人間の動作により生じる床の鉛直方向の挙動の観点から、床のかたさおよび振動の評価方法を究明することの重要性を論じるとともに、本研究の目的、範囲および本論文の構成を述べた。

「第2章 居住性からみた建築物床のかたさの評価方法」では、床の材料・構法、動作、履物、評価の観点を多様化した、汎用性の高い床のかたさの評価方法を究明した経過、結果を述べた。まず様々な材料・構法からなる試料床を用いて官能検査を実施し、種々の動作時に感じられる床のかたさに関する感覚、動作時の快適性および長時間動作を継続した場合の疲労の観点からの評価の判断を求め、心理学的尺度（かたさ感覚尺度、かたさ評価尺度）を構成した。つぎに人間が各種動作時に床に与える動的荷重を参考に、落下重錘とゴムばねからなる荷重体により動的荷重を与えたときの、実情に即した荷重条件下での床の挙動を測定できる床のかたさ測定装置を設計・試作し、装置で測定される床の挙動とかたさ感覚尺度との対応を検討した。この結果から、床の変形エネルギーから変形の復元量と復元速度の積を差し引いた物理量で、種々の動作時のかたさ感覚を表示できることを明らかにした。さらにこの物理量とかたさ評価尺度との対応から、床のかたさの最適値、許容範囲（例）などを求め、両者の対応図とともに床のかたさの評価指標として提示した。最後に、物理量の測定方法、床のかたさの評価指標などを整理し、床のかたさの評価方法として提示

した。

「第3章 居住性からみた建築物床の鉛直方向の振動の評価方法 一振動発生者と受振者が同じ場合一」では、人間の動作により発生する床振動を、動作する人間自身が感じる場合の評価方法を究明した経過、結果を述べた。まず振動性状を変化させることができる試料床を用いて官能検査を実施し、種々の動作時に感じられる床振動に関する感覚、振動の気になり具合、さしさわり具合などの観点からの評価の判断を求め、心理学的尺度（振動感覚尺度、振動評価尺度）を構成した。つぎに第2章で設計・試作した床のかたさ測定装置を、受振体としての人体の要因も含め実情と近似した条件下で床振動を測定できる床振動測定装置として準用し、装置により動的荷重を与えたときに測定される床の挙動ならびに装置を受振器として用いて測定される床振動の減衰性状と、振動感覚尺度との対応を検討した。この結果から、床の最大変形量と床振動が所定のレベルまで減衰するのに要する減衰時間からなる物理量で、種々の動作時の振動感覚を表示できることを明らかにした。さらにこの物理量と振動評価尺度との対応から、床振動の許容範囲（例）などを求め、両者の対応図とともに床振動の評価指標として提示した。最後に、物理量の測定方法、床振動の評価指標などを整理し、振動発生者と受振者が同じ場合の床振動の評価方法として提示した。

「第4章 居住性からみた建築物床の鉛直方向の振動の評価方法 一振動発生者と受振者が異なる場合一」では、人間の動作により発生する床振動を、動作する人間とは異なる人間が感じる場合の評価方法を究明した経過、結果を述べた。まず人間の動作時に発生する床振動と同様の性状をもつ振動を具現することができる試料床および試料床加振装置を用いて官能検査を実施し、種々の受振姿勢で感じられる床振動に関する感覚、振動の気になり具合の観点からの評価の判断を求め、心理学的尺度（振動感覚尺度、振動評価尺度）を構成し

た。つぎに第3章で用いた床振動測定装置を受振器として用いて測定される床の挙動と、振動感覚尺度との対応を検討した。この結果から、床の最大変形量と最大変形時までの変形速度および床振動が所定のレベルまで減衰するのに要する減衰時間からなる物理量で、種々の受振姿勢での振動感覚を表示できることを明らかにした。さらにこの物理量と振動評価尺度との対応から、床振動の許容範囲（例）などを求め、両者の対応図とともに床振動の評価指標として提示した。最後に、人間が各種動作時に床に与える動的荷重を参考に、床に振動を発生させて評価する観点から典型的な加振力をその加振方法とともに設定し、物理量の測定方法、床振動の評価指標などとあわせて振動発生者と受振者が異なる場合の床振動の評価方法として提示した。

「第5章 結論」では、本研究の結論を述べた。

以上を要するに、本論文では、独自に開発した床のかたさおよび振動測定装置で測定される床の挙動と、官能検査手法を用いて構成した心理学的尺度との関係から、人間の動作により生じる床の鉛直方向の挙動から感じられるかたさおよび振動の、居住性からみた評価方法を究明した経過、結果を述べた。

SYNOPSIS

STUDY ON EVALUATING METHODS OF HARDNESSES AND VERTICAL VIBRATIONS OF BUILDING FLOORS FROM A VIEWPOINT OF COMFORTABLE

by

Yutaka YOKOYAMA

Hardnesses and vertical vibrations based on floor responses to dynamic forces by human activities, were important performances in office, residential and similar human occupancies. Evaluating methods of hardnesses and vertical vibrations from a viewpoint of comfortable were determined from the relation between sensory scales and physical characteristics.

The sensory scales were made up by sensory tests. The sensory tests were carried out by using sample floors of various hardness and vibration characteristics. Sensation and evaluating scales in some motions as walking, standing, jumping, sitting, etc. were obtained by the method of successive categories or the method of paired comparison.

The physical characteristics of the sample floors were measured with "Hardness and Vibration Tester". This tester was developed by simulating dynamic forces applied to the floor by the foot in walking. This tester consisted of a dropping weight, plies of rubber springs, a load cell, a displacement meter, an acceleration meter, and so on.

Human body characteristics as elements to increase the damping of floor vibrations, were taken into account by this tester.

Appropriate physical values to indicate hardnesses and vibrations of human sensations, were obtained. The physical values of hardnesses were composed of 2 elements of the floor responses, deflection energy and the product of recovery displacement and its velocity. These of vibrations were composed of 2 or 3 elements of the floor vibrations. One was in the case of same the vibration source and the reciever, maximum displacement and damping time till 5dB(VAL), the other was in the case of difference, maximum displacement, velocity and damping time till 20dB(VAL).

Evaluating indexes which included the most suitable values of hardnesses or optimal ranges of hardnesses and vibrations, were presented from the relation between the evaluating scales and the physical values.

As the results of this study, the evaluating methods of hardnesses and vertical vibrations of building floors were determined by using of the physical values measured with "Hardness and Vibration Tester".

目 次

第 1 章	序 論	P.1
第 2 章	居住性からみた建築物床のかたさの評価方法	P.4
2.1	本章の目的, 範囲	P.5
2.2	本章と関連する既往の研究	P.5
2.3	本章における研究方法	P.7
2.4	床のかたさに関する官能検査およびかたさ感覚尺度, かたさ評価尺度の構成	P.7
2.4.1	官能検査の概要	P.7
2.4.1.1	検査項目および構成する尺度	P.7
2.4.1.2	検査手法の選定	P.9
2.4.1.3	試料床の設定	P.9
2.4.1.4	検査員の選定	P.10
2.4.1.5	動作, 履物の選定	P.10
2.4.2	官能検査経過, 結果およびかたさ感覚尺度, かた さ評価尺度の構成	P.13
2.4.3	考察	P.16
2.5	床のかたさ測定装置の設計, 試作およびかたさ感覚尺 度と対応する物理量の設定	P.28
2.5.1	床のかたさ測定装置の設計, 試作	P.28
2.5.1.1	床のかたさ測定装置の基本構想	P.28
2.5.1.2	床のかたさ測定装置の荷重条件の設定	P.28
2.5.1.3	床のかたさ測定装置の概要	P.30
2.5.1.4	床のかたさ測定装置の仕様の決定	P.33
2.5.2	床のかたさ測定装置による試料床の動的変形挙動 の測定	P.36
2.5.3	かたさ感覚尺度と対応する物理量の設定	P.36
2.6	床のかたさの評価指標の提示	P.42
2.6.1	かたさ評価尺度と物理量との対応	P.42
2.6.2	床のかたさの評価指標の提示	P.48
2.7	床のかたさの評価方法の提示	P.50
2.8	本章の結論	P.51
第 3 章	居住性からみた建築物床の鉛直方向の振動の評価方法 (振動発生者と受振者が同じ場合)	P.52
3.1	本章の目的, 範囲	P.53
3.2	本章と関連する既往の研究	P.54
3.3	本章における研究方法	P.55
3.4	床の振動感覚に関する官能検査および振動感覚尺度の 構成	P.56

3.4.1	官能検査の概要	P.56
3.4.1.1	構成する尺度	P.56
3.4.1.2	検査手法の選定	P.56
3.4.1.3	試料床の設定	P.58
3.4.1.4	検査員の選定	P.58
3.4.1.5	動作, 履物の選定	P.58
3.4.2	官能検査経過, 結果および振動感覚尺度の構成	P.61
3.4.3	考察	P.65
3.5	振動感覚尺度と対応する物理量の設定	P.67
3.5.1	床振動測定装置	P.67
3.5.2	床振動測定装置による試料床の挙動の測定および 振動感覚尺度と対応する物理量設定のための基礎 的検討	P.73
3.5.3	振動感覚尺度と対応する物理量の設定	P.79
3.6	床振動の評価に関する官能検査および振動評価尺度の 構成	P.81
3.6.1	官能検査の概要	P.81
3.6.1.1	構成する尺度	P.87
3.6.1.2	検査手法の選定	P.87
3.6.1.3	試料床の設定	P.87
3.6.1.4	検査員の選定	P.89
3.6.1.5	動作, 履物の選定	P.89
3.6.2	官能検査経過, 結果および振動評価尺度の構成	P.92
3.6.3	考察	P.97
3.7	床振動の評価指標の提示	P.99
3.7.1	振動評価尺度と物理量との対応	P.99
3.7.2	床振動の評価指標の提示	P.103
3.8	床振動の評価方法の提示	P.105
3.9	本章の結論	P.106
第4章	居住性からみた建築物床の鉛直方向の振動の評価方法 (振動発生者と受振者が異なる場合)	P.108
4.1	本章の目的, 範囲	P.109
4.2	本章と関連する既往の研究	P.109
4.3	本章における研究方法	P.110
4.4	床の振動感覚に関する官能検査および振動感覚尺度の 構成	P.111
4.4.1	官能検査の概要	P.111
4.4.1.1	構成する尺度	P.113
4.4.1.2	検査手法の選定	P.113
4.4.1.3	検査試料, 標準試料の設定	P.113

4.4.1.4	検査員の選定	P.120
4.4.1.5	姿勢, 履物の選定	P.120
4.4.2	官能検査経過, 結果および振動感覚尺度の構成	P.120
4.4.3	考察	P.121
4.5	振動感覚尺度と対応する物理量の設定	P.125
4.5.1	床振動測定装置	P.125
4.5.2	床振動測定装置による試料床の挙動の測定	P.126
4.5.3	振動感覚尺度と対応する物理量の設定	P.126
4.6	床振動の評価に関する官能検査および振動評価尺度の構成	P.135
4.6.1	官能検査の概要	P.135
4.6.1.1	構成する尺度	P.135
4.6.1.2	検査手法の選定	P.138
4.6.1.3	検査試料の設定	P.138
4.6.1.4	検査員の選定	P.140
4.6.1.5	姿勢, 履物の選定	P.140
4.6.2	官能検査経過, 結果および振動評価尺度の構成	P.142
4.6.3	考察	P.146
4.7	床振動の評価指標の提示	P.146
4.7.1	振動評価尺度と物理量との対応	P.146
4.7.2	床振動の評価指標の提示	P.151
4.8	床振動の評価方法の提示	P.151
4.8.1	床振動の評価における加振力に関する検討	P.151
4.8.2	床振動の評価方法の提示	P.162
4.9	本章の結論	P.163
第5章	結論	P.165
参考文献		P.167
図, 表, 写真リスト		P.171

第 1 章 序 論

建築物床に要求される性能のなかで、人間の動作により生じる床の鉛直方向の挙動から感じられるかたさおよび鉛直方向の振動は、居住性の観点から重要な性能といえる。適度なかたさを得るためには、床に適度な変形挙動が要求される一方、振動により居住性を低下させないためには、床の変形挙動をできるだけ抑止することが要求されると考えられることから、これらの要求に適切に対処するためには、床の変形挙動を基本とした、床のかたさおよび振動の評価方法確立することが望ましい。しかるに、床のかたさおよび振動の評価方法に関しては、限られた用途、材料・構法の床を対象とした評価方法がいくつか提示されているにすぎず、歩く、立つなど日常的な動作に供する床全般に適用できる評価方法はいまだ確立されていない。

本研究の目的は、種々の動作時に感じられる床のかたさと、人間の動作により発生する床の鉛直方向の振動の評価方法確立して、適切な床の選択、開発のための有効な知見とすることにある。

本研究で対象とする床の材料・構法は特に限定せず、住居、事務所、学校などで歩く、立つなど日常一般的な動作に供する床全般を対象とする。なお本研究で対象とする床の挙動は建築物内の人間の動作により生じる鉛直方向の挙動のみとし、床の水平方向の挙動および人間の動作以外の外力により生じる挙動は本研究の範囲外とする。また評価の観点は建築物使用者の居住性のみとし、建築物そのものの安全性、耐久性など構造的観点からみた評価は対象外とする。さらに構造的解析手法を用いた人間の動作時の床の応答の予測や、具体的な床材料・構法とかたさ、振動との関係の把握、実存する床の評価および具体的な床の開発は、本研究の範囲外とする。

本論文の構成は以下のとおりである。

第1章では、本研究の目的、範囲および本論文の構成を述べる。

第2章では、実情に即した条件下での床の変形挙動を測定できる床のかたさ

測定装置を設計、試作し、装置で測定される床の挙動から、種々の動作時のかたさ感覚を表示する物理量を求め、最終的に床のかたさの評価方法を確立した経過、結果を述べる。

第3章では、第2章で設計、試作した床のかたさ測定装置を床振動測定装置として準用し、装置を用いて床を加振し、床振動を受振したときに測定される床の挙動から、種々の動作時の振動感覚を表示する物理量を求め、最終的に振動発生者と受振者が同じ場合の床振動の評価方法を確立した経過、結果を述べる。

第4章では、第3章で用いた床振動測定装置を受振器として準用し、装置を用いて床振動を受振したときに測定される床の挙動から、種々の受振姿勢での振動感覚を表示する物理量を求め、最終的に振動発生者と受振者が異なる場合の床振動の評価方法を確立した経過、結果を述べる。

第5章では、本研究の結論を述べる。

第 2 章 居住性からみた建築物床のかたさの評価方法

2.1 本章の目的, 範囲

建築物の床に要求される性能のなかで、人間が触れるという観点では、かたさはすべり、温冷感などとともに、床の居住性を大きく左右する性能のひとつといえる。特に近年、居住者の生活水準の向上にともない建築物内における居住性の向上が重要な課題となっており、床のかたさに関しても、居住性向上の観点から、妥当な評価方法の確立が望まれている現状にある。

居住性からみた床のかたさの評価方法としては、限られた構法の床および動作、履物を対象とした評価方法がこれまでに提示されているが^{1), 2)}、種々の材料・構法の床が出現している現在では、動作、履物も含めより汎用性の高い床のかたさの評価方法の確立が必要と考えられる。

本章の目的は、床の材料・構法、動作、履物を多様化し、動作時の快適性および長時間動作を継続した場合の疲労のふたつの観点からの床のかたさの評価方法を確立するとともに、よりよい床材料・構法の選択ならびに開発に必要ないくつかの知見を提示しようとするところにある。

本章で対象とする床は、おもに歩く、立つ、座る、横たわるなどの日常的な動作に供する床全般とし、材料・構法としては、かたさの観点から代表的なものはすべて含むこととする。

2.2 本章と関連する既往の研究

居住性からみた床のかたさに関する研究は、1950年代以降を中心に国内外においていくつかなされている。このうち、これまで報告されたおもな研究としては、床に衝突する砂を内包したガラス球の破壊する落下高さで床のかたさを評価しようとした内田の研究³⁾、床に衝突する鋼球の反撥飛距離で各種床材料の弾力性を表示しようとした吉岡の研究^{4), 5)}、床に衝突する落下重錘に取り付けたアルミニウム棒の歪エネルギーで床仕上げ材料の緩衝効果を表示しようと

した吉岡，平井らの研究^{6)・7)・8)}、床に衝突する落下重錘の反撥性状により床のかたさを表示しようとした内田，胡らの研究^{9)・10)・11)}、数種の床材を試料として床のかたさに関する心理学的尺度を構成しようとした川村らの研究¹²⁾、人間の歩行時の心理，生理的反応および動作機構から床のかたさが歩きやすさに与える影響について検討した山田，後藤の研究^{13)・14)}、静的荷重による床仕上げ材料の圧縮試験の結果から得られる変形エネルギーでかたさを表示しようとしたNBSにおける研究¹⁵⁾、があげられる。

いずれの研究も貴重な成果をあげてはいるが、かたさに対する人間の心理的反応あるいは生理的反応を的確に数量化し、床のかたさに関する物理量あるいはその測定方法の妥当性を実証した研究例はみあたらない。またNBSにおける研究¹⁵⁾を除き、測定される物理量と床の工学的性質との関連が明確にされていないため、得られた結果を床材の選択，開発の際の有効な資料として直接還元することが困難と考えられる。

また吉岡，小野らは、上下方向の剛性の高い床版上に施工された塗床および張床上を靴を履いて歩行する場合のかたさを、静的荷重載荷時の床の変形エネルギーと除荷時の残留変形エネルギーから得られる物理量で表示し、最終的に床のかたさの評価式および最適値を提示した^{1)・2)}。しかし床の材料・構法，動作，履物を多様化した汎用性の高い床のかたさの評価方法は、いまだ確立されていないのが現状である。

なお本章における研究と類似した観点からの研究として、小野，吉岡らによる体育館床の弾力性の評価方法に関する研究^{16)・17)・18)・19)・20)}があること、さらに関連する既往の研究として、床のかたさを定量的に測定するための基礎的資料となる人間が歩行時などに床に与える荷重の性状や、歩行時の足裏の接地面積に関する研究など、多数の報告があることも附記する。

2.3 本章における研究方法

本章における研究方法および手順は以下のとおりである。

- 1) 適切な試料床を選定し、官能検査手法を用いて、各種動作時の床のかたさに対する人間の感覚、快適性および疲労の観点からの評価の判断を求め、尺度構成理論^{21), 22)}を適用して床のかたさに関する心理学的尺度を構成する。
- 2) 人間が床に与える荷重などを参考として、汎用性の高い床のかたさ測定装置を設計、試作する。
- 3) 1)で構成したかたさ感覚尺度と2)で設計、試作した床のかたさ測定装置で測定される種々の物理量との対応を検討し、床のかたさを表す妥当な物理量を設定する。
- 4) 1)で構成したかたさ評価尺度と3)で設定した物理量との対応から、床のかたさの最適値、許容範囲などを求め、物理量とかたさ評価尺度との対応図とともに、床のかたさの評価指標として提示する。
- 5) 床のかたさの評価方法を具体的に提示する。

以上、人間の心理的反応と床の物理的特性との対応を軸にして研究を進めるが、生理的反応による裏付けなどに関しては今後の課題としたい。

2.4 床のかたさに関する官能検査およびかたさ感覚尺度、かたさ評価尺度の構成

2.4.1 官能検査の概要

官能検査の検査項目、試料床、検査員、動作、履物などの概要および組合せを表-2.1に一覧にした。以下におもな事項について説明を加える。

2.4.1.1 検査項目および構成する尺度

表-2.1 官能検査要領一覧

判断範ちゅうく【 】には右記の“動作”が入る)		検査項目	かたさ感覚	かたさ評価(男性)						かたさ評価(女性)								
かたさ感覚	かたさ適性			動作	歩行	立位	腰降し・正座・横回転	歩行	立位	腰降し・正座・横回転	歩行	立位	腰降し・正座・横回転	歩行	立位			
この床の上で「【 】」する時の床のかたさは、 ① 非常に硬い。 ② 硬い。 ③ やや硬い。 ④ やや柔らかい。 ⑤ 非常に柔らかい。	この床の上で「【 】」する時の床のかたさは、 ① 非常に硬い。 ② 硬い。 ③ やや硬い。 ④ やや柔らかい。 ⑤ 非常に柔らかい。	敷物・その他	裸足	○	○	トレーニング用 シューズ着用	○	○	トレーニング用 シューズ着用	×	○	○	○	トレーニング用 シューズ着用	×	○		
			くつ下	○	○		○	○	○	×	○	×	×		×			
			スリッパ	○	○		○	○	○	○	○	○	○		○			
			軟底特土靴	○	○		○	○	○	○	○	○	○		○			
			硬底特土靴	○	○		○	○	○	○	○	○	○		○			
		中ヒール																
この床の上で「【 】」するとしたら、 ① 非常に硬い。 ② 硬い。 ③ やや硬い。 ④ やや柔らかい。 ⑤ 非常に柔らかい。	この床の上で「【 】」するとしたら、 ① 非常に硬い。 ② 硬い。 ③ やや硬い。 ④ やや柔らかい。 ⑤ 非常に柔らかい。	検査員 A: 平均年齢(才) H: 平均身長(cm) V: 平均体重(kg)	成人男子 10名 A: 25.6 H: 170.1 V: 65.5	成人男子 17名 A: 25.2 H: 169.6 V: 63.4	成人男子 17名 A: 25.2 H: 169.6 V: 63.4	成人女子 17名 A: 20.7 H: 158.9 V: 51.9												
NO		試料床の要領(単位mm)		大きさ(mm)														
1	バネ(120.8kgf/cm)	東+合板②25+鉄板④4×2+合板②25		910×910		○	○	×	○	○	×	○	○	○	○	×	○	○
2	バネ(32.6kgf/cm)	東+合板②25+鉄板④4×2+合板②25		910×910		○	○	×	○	○	×	○	○	○	○	×	○	○
3	根太床(③300)	合板②15+フローリングボード②15		600×1800		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	根太床(③600)	合板②15+合成樹脂系複合床材③3.5		600×1800		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5	根太床(③450)	合板②12+合成樹脂系複合床材③3.5		900×1800		×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6		合板②9+カーペット②10		900×1800		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
7		フローリングボード②15		900×1800		×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8		合板②12+フェルト④4+カーペット②10		900×1800		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
9	置き床 (バネ・チクルボ ード②25下張)	たたみ⑤55		910×1820		×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10		合板②12+合成樹脂系複合床材③3.5		910×1820		×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
11		合板②12+フェルト④4+カーペット②10		910×1820		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
12		フローリングボード②15		910×1820		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
13	直床 (発泡プラスチ ック下地)	ゴム②10+フローリングボード②15		600×1800		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
14		クッション材②21+カーペット②10		600×1800		×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
15		合板②12+合成樹脂系複合床材③3.5		600×1800		○	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
16		フローリングボード②15		600×1800		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
17	置き床 (合板②12下張)	クッション材②21+カーペット②10		950×1850		×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
18		合成樹脂系複合床材③3.5×2		950×1850		標準床			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
19	置き床 (合板②9下張)	ゴム②10+合板②15		950×1850		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
20		クッション材②21×2+カーペット②10		950×1850		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
21	直床 (コンクリート 下地)	たたみ⑤55		450×1800		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
22		合成樹脂系複合床材③3.5		450×1800		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
23		フェルト④4+カーペット②10		450×1800		×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
24		クッション材付フローリングブロック②12		450×1800		○	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
25		クッション材②60+合板②15		450×1800		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
26		ゴム②10+カーペット②10		450×1800		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
27		クッション材②21×2+カーペット②10		450×1800		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
28		仕上材なし(剛床)		450×1800		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

NO: 試料床ナンバー

○: 検査を実施した組合せ X: 検査を実施しなかった組合せ

検査項目はかたさ感覚とかたさ評価で、かたさ評価は動作時の快適性の観点からの適・不適を示すかたさ適性と長時間動作を継続した場合の疲労を予測する長期疲労予測の2項目からなっている。各々の検査結果から、かたさ感覚尺度、かたさ適性尺度、長期疲労予測尺度を構成するが、このうちかたさ感覚尺度はかたさの測定方法の妥当性を検討するために用いる尺度となる。

2.4.1.2 検査手法の選定

検査手法として、同様の刺激を対象とした既往の研究例²³⁾を参考に適用の妥当性を検討した結果から、かたさ感覚の検査では標準床との比較による系列範ちゅう法^{21)・22)}、かたさ評価の検査では絶対判断による系列範ちゅう法^{21)・22)}を選定した。判断範ちゅうは表-2.1に示すとおりである。

2.4.1.3 試料床の設定

試料となる床の設定にあたって以下の点に留意し、計28個の試料床を大きさ約40m²の検査室に設置した。

- ・実存する床のかたさの程度を十分包含し、かつかたさの観点からみて代表的な材料・構法の床を含める。
- ・検査員に疲労、倦怠を感じさせない試料数とする。
- ・検査期間中かたさが変化しにくくかつ検査を行うのに支障のない大きさとする。

ここで、N0.1, 2の試料床は床の振動の影響に関する基礎的知見を得るために、通常の床と比較してよく振動する床にしている。さらに置床、根太床では箇所によりかたさが異なるので動作位置をあらかじめ指定した。

またかたさ感覚の検査において各試料床の比較対象となる標準床はN0.18の試料床とした。標準床の選定にあたっては、かたさが試料群のほぼ中庸となるよ

う考慮した。

写真－2.1に検査室に設置した試料床の設置状況を示す。

なお、いくつかの検査項目において、特に必要なしと判断された試料床は検査効率の観点から削除した。

2.4.1.4 検査員の選定

かたさ感覚の検査では、かたさの刺激の大小の判断に検査員の層による差は小さいとみなして成人男子10名を、かたさ評価の検査では成人男子10名～17名、成人女子17名を検査員として選定した。

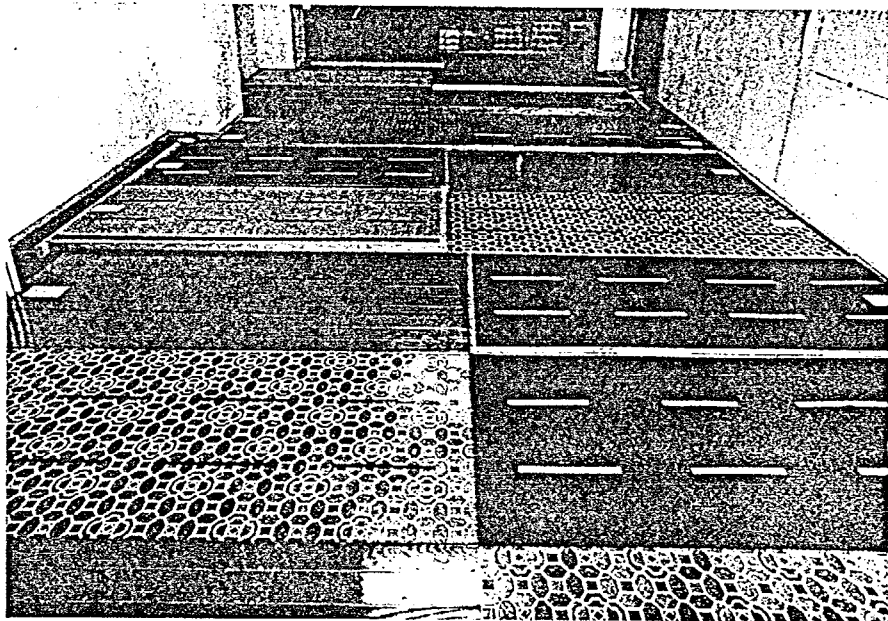
なお、かたさ評価の検査における検査員の層として、老人、子供などほかの層をも対象とするのが望ましいが、現実的にはこれらの層の検査員による検査が困難なことから、層によるかたさの評価の差の詳細な検討は今後の課題とすることとした。

2.4.1.5 動作、履物の選定

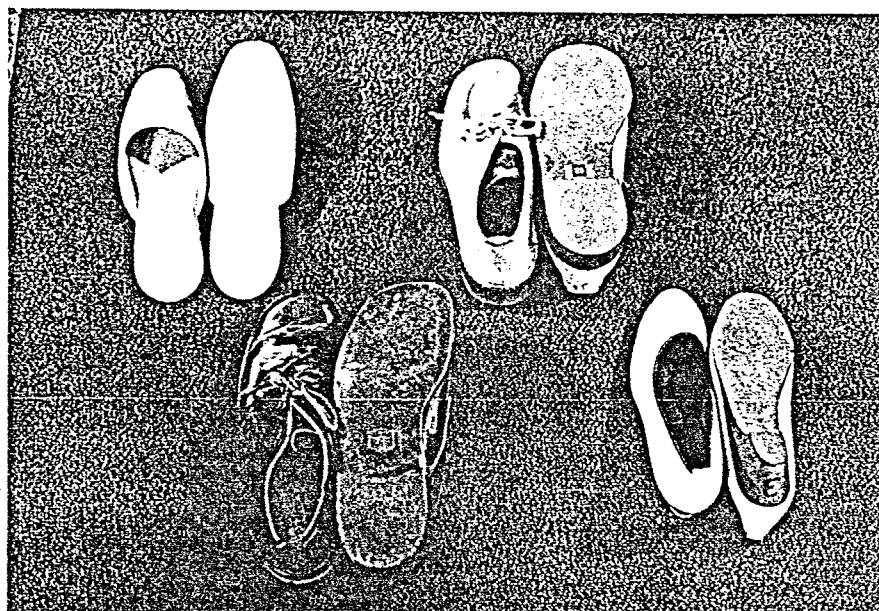
本検査では、床のかたさを判断する動作として、従来中心的に選定されている歩行に加え、立位、腰降し、正座、横臥回転の動作も選定した。

一方歩行、立位の検査における履物として、男性の場合は厚手のくつ下、底のやわらかめのスリッパ、軟底紳士靴、硬底紳士靴、女性の場合は、男性の検査において素足とくつ下との間に有意な差がなかったのでくつ下を削除し、男性の場合と同じスリッパ、中ヒールを選定し、ほかにいずれの場合も素足を加えた。写真－2.2に選定したスリッパ、軟底紳士靴、硬底紳士靴、中ヒールを示す。

また、腰降し、正座、横臥回転の動作では同一のトレーニングウェアを着用させた。



写真－2.1 試料床の設置状況



写真－2.2 検査に用いたスリッパ, 軟底紳士靴, 硬底紳士靴, 中ヒール

なお、素足、くつ下、スリッパでの歩行においては現実的に長期疲労の問題は少ないと考え検査から削除した。

2.4.2 官能検査経過、結果およびかたさ感覚尺度、かたさ評価尺度の構成

2.4.1に述べた条件のほかに、床のすべり、発音、視覚的なものは判断に入れないこと、検査員は疲れたら自由に休めること、各動作の形態はほぼ統一するが速度、激しさなどは自由とすること、質問も返答も口頭で行うこと、などを条件として検査を実施し基礎データを得た。官能検査状況を写真-2.3に示す。

表-2.2に官能検査の分散分析結果を一覧にした。

すべてにおいて主効果が高度に有意であることから、設定した試料床群は十分差異のある刺激を検査員に与えており、検査手法をも含めて、床のかたさに対する感覚および評価の判断を求める検査として不都合はなかったとみなせる。

一方、わずかの例を除いて個人差も高度に有意であり、個人差が存在していることが明確である。さらに、概して評価の判断において個人差の寄与率が大いことから、かたさの評価の判断にはかたさの感覚の判断よりも大きな個人差が存在しているといえる。特に、男性ではスリッパ履きの立位での長期疲労予測、女性では腰降し、正座、横臥回転でのかたさ適性、素足、スリッパ履きの立位での長期疲労予測において、個人差がより大きくでている。

しかしながら、前述したように、個人差がおもに試料の設定、検査手法のために生じているものではないといえること、類似の刺激を対象として行った既往の研究例^{8), 19), 23), 24)}にもこの傾向は明確に見受けられることから、得られた個人差は、床のかたさに関する判断として検査員間に本来存在しているものとみなしてよいと考える。

以上の検討から、官能検査結果から構成される尺度は十分意味を持つといえるが、前提として、程度の差はあるが代表値として求められる各尺度は、いず



写真－2.3 官能検査状況

表 - 2.2 分散分析結果

かたさ感覚				かたさ適性				長期疲労予測			
		分散比	寄与率			分散比	寄与率			分散比	寄与率
歩・素	主	35.276"	75.80%	歩・素	主	24.385"	54.82%	歩・素	主	16.593"	44.49%
	個	1.992'	1.04%		個	3.839"	3.94%		個	4.138"	5.31%
歩・く	主	45.071"	78.05%	歩・く	主	23.592"	54.27%	歩・硬	主	13.087"	38.63%
	個	2.680"	1.55%		個	3.442"	3.48%		個	3.717"	5.14%
歩・入	主	33.812"	74.90%	歩・入	主	18.270"	45.50%	立・素	主	16.349"	42.93%
	個	2.106'	1.20%		個	6.224"	8.16%		個	5.732"	7.85%
歩・軟	主	27.414"	70.72%	歩・軟	主	12.446"	37.69%	立・く	主	15.797"	42.38%
	個	1.977'	1.24%		個	3.242"	4.38%		個	5.263"	7.24%
歩・硬	主	30.551"	73.19%	歩・硬	主	12.201"	37.81%	立・入	主	12.890"	35.35%
	個	1.746'	0.88%		個	2.409"	2.82%		個	8.007"	12.34%
立・素	主	68.766"	85.86%	立・素	主	22.291"	51.86%	立・軟	主	9.295"	29.10%
	個	2.193'	0.80%		個	4.668"	5.29%		個	5.421"	9.19%
立・く	主	61.227"	82.46%	立・く	主	22.726"	52.81%	立・硬	主	12.771"	37.60%
	個	5.301"	3.12%		個	4.071"	4.42%		個	4.278"	6.21%
立・入	主	71.061"	85.76%	立・入	主	13.868"	38.05%	歩・中	主	12.334"	35.59%
	個	3.066"	1.34%		個	6.663"	9.92%		個	5.926"	9.17%
立・軟	主	52.774"	81.39%	立・軟	主	11.563"	35.84%	立・素	主	12.681"	35.49%
	個	3.473"	2.06%		個	6.663"	9.92%		個	7.147"	11.07%
立・硬	主	74.743"	85.75%	立・硬	主	17.009"	45.30%	立・入	主	5.499"	17.44%
	個	3.938"	1.83%		個	3.931"	4.91%		個	7.259"	14.38%
腰	主	70.690"	85.20%	腰	主	58.091"	82.84%	立・中	主	6.652"	23.25%
	個	3.514"	1.84%		個	5.080"	2.13%		個	2.803"	4.39%
正	主	136.09"	91.56%	正	主	20.757"	64.97%	素：素足 く：くつ下 ス：スリッパ 軟：軟底紳士靴 硬：硬底紳士靴 中：中ヒール			
	個	4.081"	1.25%		個	1.816'	0.97%				
横	主	116.41"	90.81%	横	主	66.818"	83.87%	歩：歩行 立：立位 腰：腰降し 正：正座 横：横臥回転			
	個	2.792"	0.85%		個	7.388"	2.93%				

れも個人差を内包していることを認識したうえで論議を進める必要があるといえる。

以上構成される尺度の有意性を確認したうえで、官能検査で求めた基礎データを用い、尺度構成理論^{21), 22)}に従ってかたさに関する心理学的尺度を構成した（尺度の概要は以降に図示することとし、詳細は省略する）。

2.4.3 考察

図-2.1に求めたかたさ感覚尺度を、また図-2.2に求めたかたさ評価尺度をそれぞれ尺度線上に示す。図中の折れ線は各試料床の尺度値を数直線上にプロットし試料床ごとに結んだものであり、尺度値が大きいほどやわらかい、あるいは適している、疲れなさそうであると判断されていることを意味する。また表-2.3にかたさ感覚尺度、かたさ評価尺度相互の相関表を示す。ただし相関係数は、各々共通して使用した試料床における尺度値の対を用いて算出したものである。

図-2.1, 表-2.3から、試料床に対する感覚上のかたさに関する相対的序列は、動作の種類および激しさ、履物によってほとんど変化しないことが明確である。このことは床のかたさの測定方法の究明に有効な知見となる。つまり、2.4.1.5で選定した動作のなかから代表的動作とみなされるひとつの動作を選択し、その動作の形態、床に与える荷重などを基礎的資料としてかたさ測定装置を設計、試作し、その動作時に得られたかたさ感覚尺度となめらかに対応する物理量を抽出できれば、得られた物理量でほかの動作時に感じるかたさも十分表示できることになり、かたさの測定の簡易化、統一化が十分可能なことを示している。特に腰降し、正座、横臥回転において身体のいかなる部分でかたさを感じるかなどの真の現象を究明できなくても、前述した考え方で究明される測定方法でこれらの動作時に感じる床のかたさも表現できることになり、床の

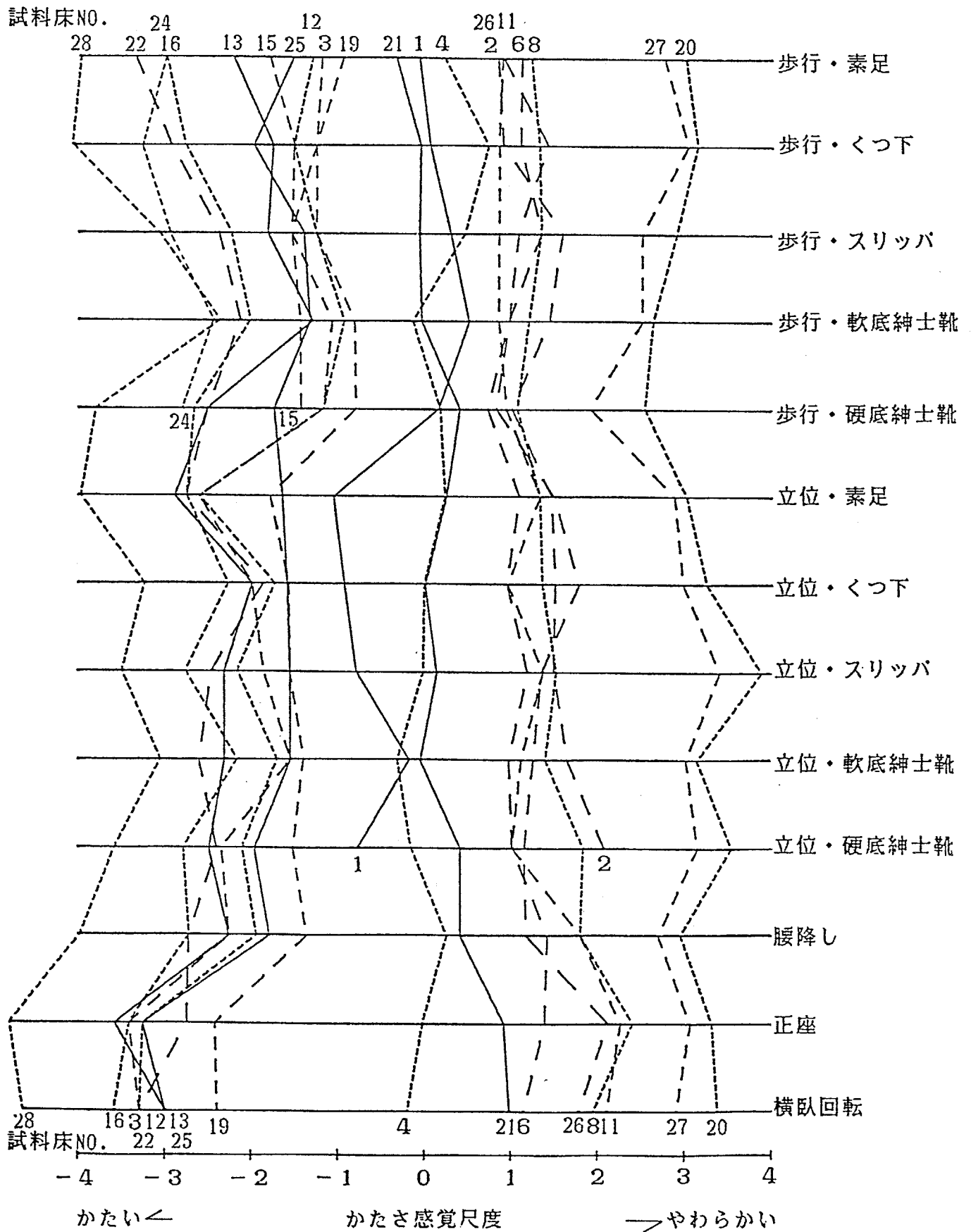
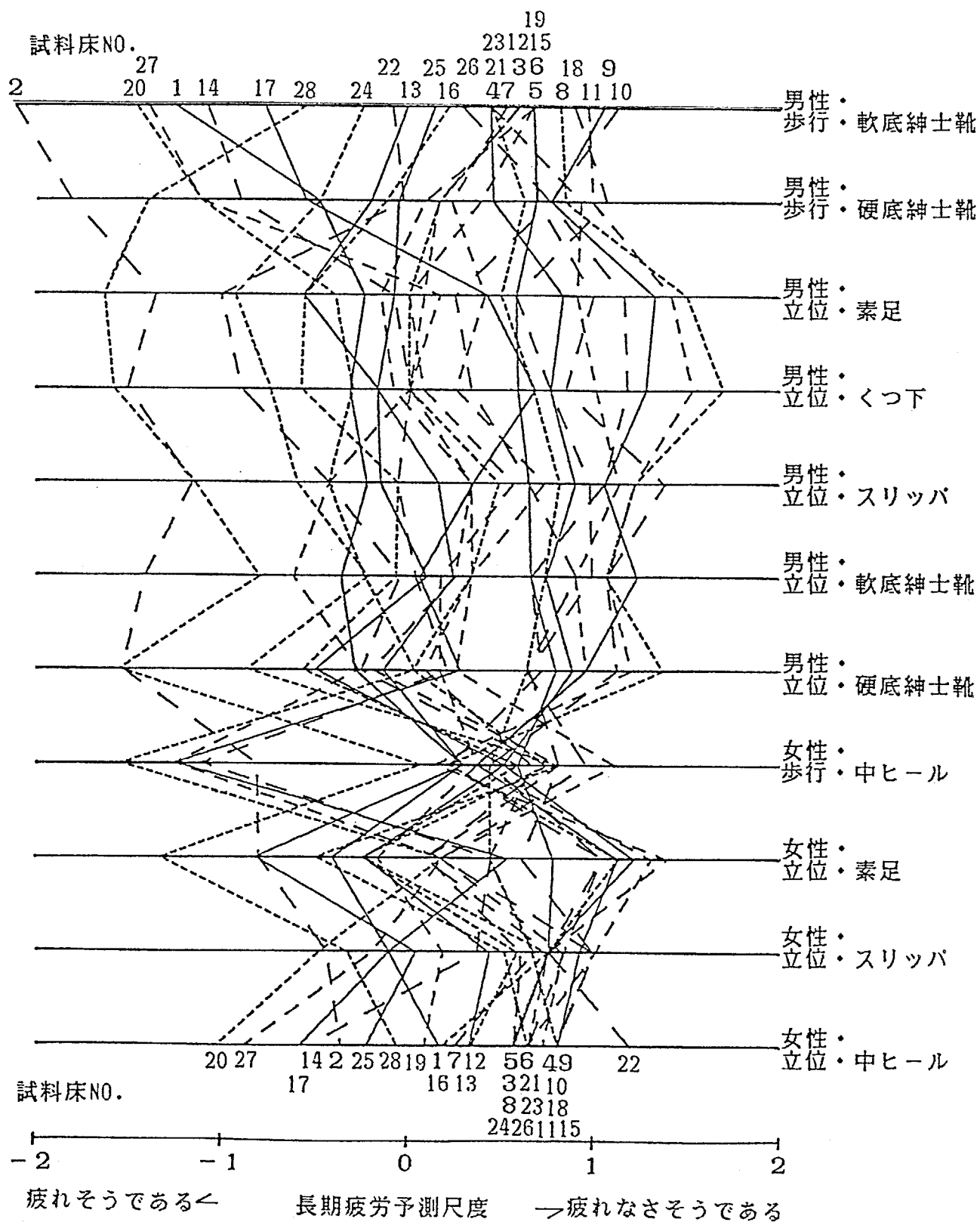


図-2.1 かたさ感覚尺度線図



(口) 長期疲労予測尺度

図-2.2 かたさ評価尺度線図

表-2.3 かたさ感覚尺度、かたさ評価尺度の相関表

かたさ適性尺度の相関

動作	立位										歩行										性別																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	腰降し					正座					立位					歩行					性別																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	履物	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底	素足	くつ	スリ	軟底	硬底

かたさ適性尺度と長期疲労予測尺度の相関

性別	男性					女性				
	歩行		立位			歩行		立位		
	軟底	硬底	素足	くつ	硬底	軟底	素足	くつ	硬底	軟底
相関係数	0.98	0.98	0.98	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98

：危険率1%で有意
 ，：危険率5%で有意

くつ：くつ下
 スリ：スリッパ
 軟底：軟底紳士靴
 硬底：硬底紳士靴
 中ヒ：中ヒール

かたさを統一的に測定する方法の妥当性を論ずるのに重要な知見になると考える。

また、図-2.1から特に歩行において、試料床に対する素足、くつ下履き、硬底紳士靴履きでのかたさの感覚上の広がり（尺度の大小の差）はほぼ同程度であるが、スリッパ履き、軟底紳士靴履きでの広がり（尺度の大小の差）は狭いのが明確で、履物の底のやわらかさが感覚上床のかたさの差異の把握を鈍らせていることがわかる。このことは床のかたさの良否の絶対的評価を検討する場合、履物底のやわらかさを考慮して検討を進める必要があることを示している。

一方、図-2.2から以下の傾向を抽出できる。

- ・かたさ適性尺度，長期疲労予測尺度いずれにおいても、全体的に女性よりも男性の場合に尺度の広がり（尺度の大小の差）が大きい。つまり試料床に対する良否の評価が男性の場合より明確に行われているといえる。

- ・同様に動作別にかたさ適性尺度の広がりを見ると、男性，女性ともに腰降し，正座，横臥回転の場合に広がり（尺度の大小の差）が大きく、逆に立位の場合に広がり（尺度の大小の差）が小さい。

さらに、図-2.2，表-2.3から、かたさ評価尺度相互の関係において以下の傾向を抽出できる。

- ・男性の場合、動作が同じであればかたさ適性尺度相互の間に履物による顕著な差はない。

- ・女性の場合、動作が同じでも、中ヒールとスリッパの組合せ以外のかたさ適性尺度相互の間に履物による顕著な差がある。

- ・歩行，立位においては、履物の条件が同じであれば、男性と女性のかたさ適性尺度相互の間に顕著な差はない。

- ・腰降し，正座，横臥回転の場合、動作，性にかかわらずかたさ適性尺度は相対的に非常に近似している。

- ・以上に述べた以外の組合せにおいては、かたさ適性尺度相互の間に密接な関

係が見受けられない場合が多い。

- ・かたさ適性尺度と長期疲労予測尺度の関係において、動作、性、履物の条件が同じであれば、両者は非常に近似している。

以上抽出した様々な傾向は、おもに、

- ・個人間あるいは男女間における床のかたさに対する評価基準の差および感応性の程度、

- ・動作、履物の底のやわらかさおよび形状などによる床の変形性状の差異、

- ・床のかたさの刺激を受ける身体部位の感応性の程度、

の3つの要因により生じていると考えられる。

それゆえ、一部の場合を除き、床のかたさに対する評価を検討する場合は、動作、履物、性を重要な要因として取り入れる必要があり、安易に統一的に論ずることは危険であるといえる。

つぎに、2.4.2で構成したかたさ評価尺度の実際床に対する適用性について検討した結果について述べる。

2.4.2で構成した床のかたさ評価尺度は、検査室に試料床を設置した条件での判断から得られたものであり、試料床の大きさ、室の雰囲気などが実際床と多少異なることから、厳密には得られた評価が実際床から得られる評価と同じであるかどうかの問題点として残る。

本章では、実際床において同様の官能検査を実施し、得られる尺度が2.4.2で得られた尺度と同じとみなせるかどうかを、尺度同士の相関関係をもとに検討し、2.4.2で得られた尺度のより一層の有効性を確認することとした。

実際床のかたさ評価尺度を構成するための官能検査の検査項目、実際床、検査員、動作、履物などの概要および組合せを表-2.4に一覧にした。なお、検査手法および判断範ちゅうは2.4.1.2と同じである。

対象とした実際床は表-2.4に示した5つの床で、このうちN0.2, 4, 5は

表-2.4 実験床での官能検査要領一覧

判断範ちゅう([] には右記の”動作”が入る)		検査項目	かたさ評価 (男性)		
かたさ適性			かたさ適性		長期疲労予測
この床の上で [] する時の床のかたさは、 ⑦ 非常に適している。 ⑥ かやちや、適している。 ⑤ どやちや、適している。 ④ かやちや、適している。 ③ 非常に不適である。 ② 非常に不適である。 ① 非常に不適である。	かたさ適性	動作	歩行	立位	立位
	長期疲労予測	素足	○	○	○
		くつ下	○	○	○
		スリッパ	○	○	○
		検査員の概要 A: 平均年齢 (才) H: 平均身長 (cm) W: 平均体重 (kg)	成人男子12名 A: 23.7 H: 171.3 W: 63.6		
実測床の概要 (単位mm)		大きさ (mm)	対応する 試験床NO		
1 直床 (発 泡スポンジ 床)	合板⑩12+フェルト④+カーペット⑩	4650×2925	11	○	○
	合板⑩12+合成樹脂系複合床材⑩3.5	2400×2925	15	○	○
	たたみ⑤55	3675×2775	9	○	○
4 直床 (コ ンクリート 下地)	フェルト④+カーペット⑩	4700×3075	23	○	○
5	合成樹脂系複合床材⑩3.5	3800×3075	22	○	○

○：検査を実施した組合せ

NO：実験床ナンバー

2.4.1.3で設定した試料床N0.15, 23, 22と同じ材料・構法の床、同様にN0.1, 3は試料床N0.11, 9とかたさの観点からほぼ同様とみなせる床である。これらの床はRC造の集合住宅の床で引き渡し前のものである。

検査員は成人男子12名で、2.4.2と同様の教示を与え検査を実施した。写真－2.4に実際床での官能検査状況を示す。

なお、実際床での検査では、検査項目、履物、対象床、検査員のいずれもが検査室での検査と比較して限定されているが、これは条件に合致する床を選択することが困難だったこと、現場での検査のため、時間などの物理的制約から同一の規模の検査を実施するのが困難だったことによるものである。しかし実際床での検査の目的が2.4.2で求めたかたさ評価尺度の実際との整合性を確認することにあることから、これらの制約は大きな問題にはならないといえる。

表－2.5に実際床での官能検査の分散分析結果を示す。

立位でスリッパ履きでのかたさ適性において主効果が有意でない。これは5つの実際床のかたさの差が検査室での検査の場合と比較して小さいために生じたと考えられるが、他の場合はすべて主効果が有意であり、個人差も検査室での検査の場合と比較して大きな差異がないことから、立位でスリッパ履きでのかたさ適性以外は、2.4.2で述べたと同様の条件下で求められる尺度は有効とみてよい。

以上の検討から、立位でスリッパ履きでのかたさ適性を除いた他の場合の実際床のかたさ評価尺度を、尺度構成理論^{21), 22)}に従って構成した。

図－2.3に実際床のかたさ評価尺度と2.4.2で構成した試料床のかたさ評価尺度との関係を示す。図中の点線は最小二乗法で求めた回帰直線であり、 r は相関係数である。図にみられるごとく両者の相関は高くかつ1:1の関係にあることから、検査室に設置した試料床で得られる尺度と実際床で得られる尺度に、大きな差異はないものとみなすことができる。

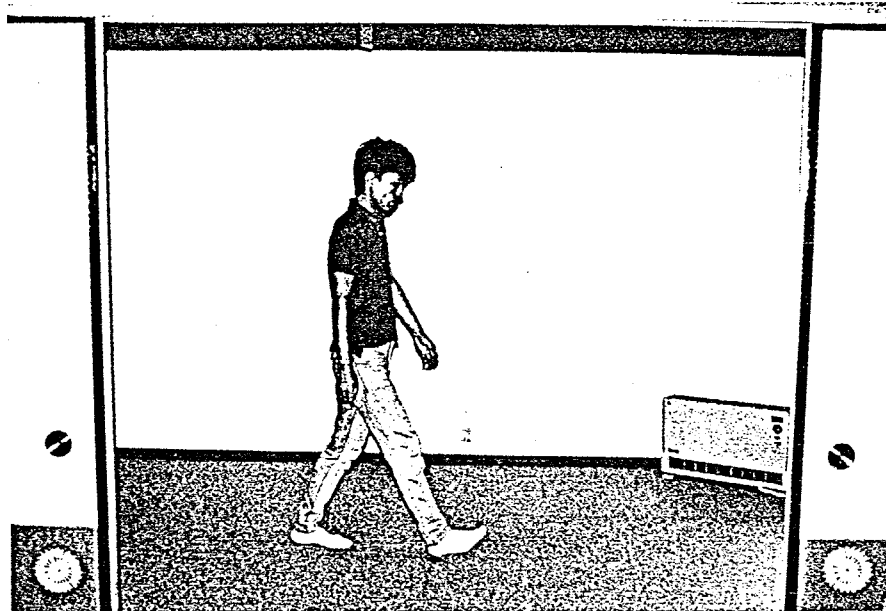


写真-2.4 実際床での官能検査状況

表-2.5 実際床での官能検査の分散分析結果

かたさ適性					長期疲労予測						
			分散比	寄与率				分散比	寄与率		
男	歩・素	主	30.859”	64.38%	男	立・素	主	13.602”	44.18%		
		個	1.644	3.82%			個	1.427	4.11%		
		歩・く	主	18.965”			54.27%	立・く	主	9.636”	25.49%
			個	1,142			1.18%		個	4.814”	30.96%
		歩・ス	主	5.746”			20.51%	立・ス	主	5.189”	17.28%
			個	2.326’			15.76%		個	2.930”	21.89%
	性	立・素	主	9.972”	36.59%	主：主効果 個：個人差 ”：危険率1%で有意 ’：危険率5%で有意 歩：歩行 立：立位 腰：腰降し 正：正座 横：横臥回転 素：素足 く：くつ下 ス：スリッパ	個	1.290	3.25%		
			立・く	主	16.052”			39.76%	個	3.929”	21.28%
		立・ス		主	2.309		5.51%	個		3.799”	32.40%
			腰	主	24.945”		60.83%		個	1.244	1.70%
		正		主	18.367”		48.08%	個		2.456’	11.08%
			横	主	21.325”		54.85%		個	1.720	5.35%

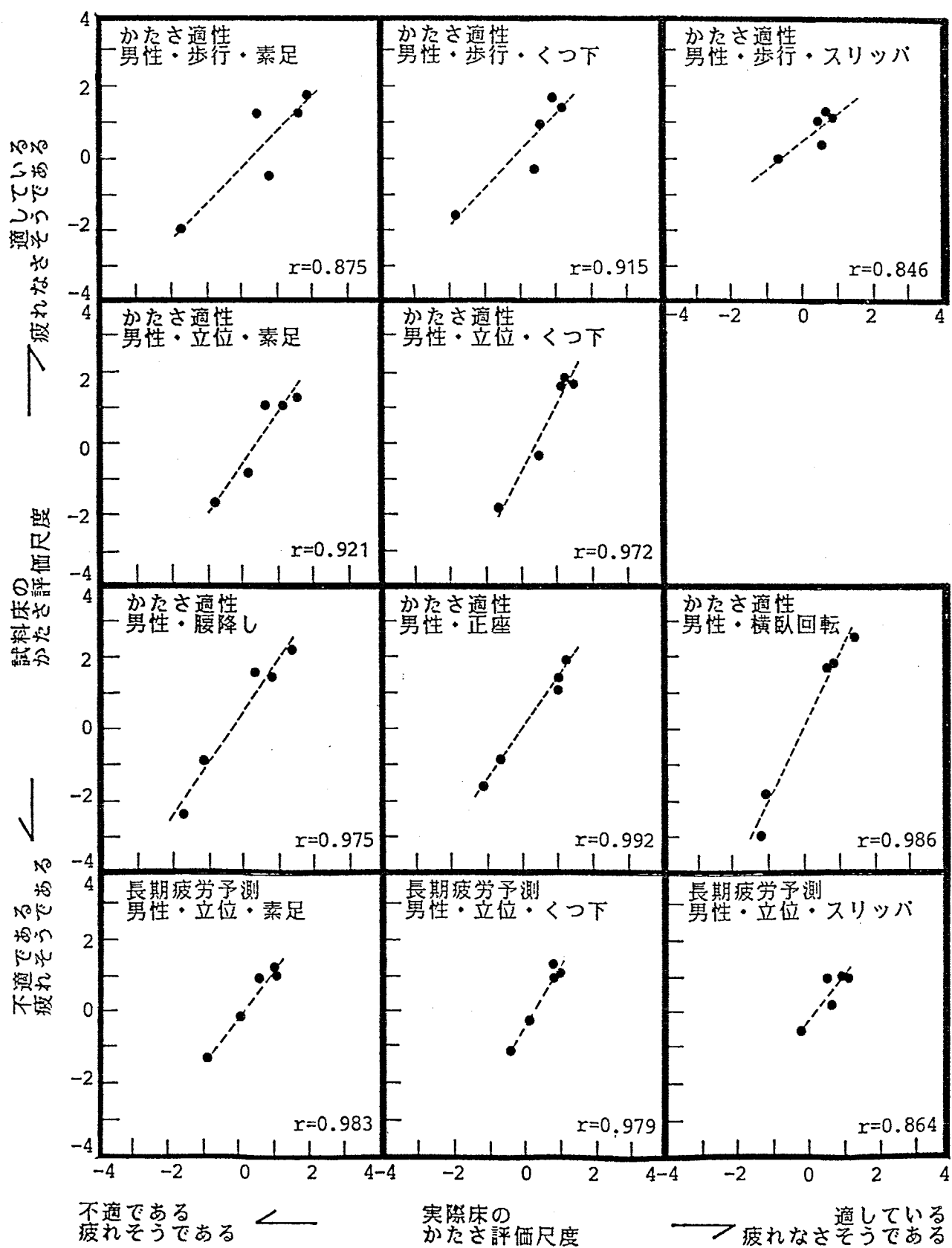


図-2.3 実際床と試験床とのかたさ評価尺度の関係

これらの検討結果から、2.4.2で得られた床のかたさに関する心理学的尺度はきわめて現実性が高い有効な尺度とみなしてよいと考えられる。

2.5 床のかたさ測定装置の設計，試作およびかたさ感覚尺度と対応する物理量の設定

2.5.1 床のかたさ測定装置の設計，試作

2.5.1.1 床のかたさ測定装置の基本構想

床のかたさは、人間の動作により生じる床の動的変形挙動と密接な関係があるのが明白なことから、実情に即した荷重条件下での床の動的変形挙動を把握したうえで、かたさを表示する物理量を求めるのが望ましいといえる。一方2.4.3では、多種・多様な床のかたさに対する人間の感覚上の相対的序列は動作の形態，激しさあるいは履物の有無，種類によらずほとんど同じであることから、床の動的変形挙動を把握するための荷重条件は、ひとつの代表的動作から抽出して不都合はないことを考察した。

以上の知見から、本章では2.4.1.5で選定した動作のうち歩行動作を代表的動作として選定し、歩行時に床に与える鉛直荷重と近似した荷重条件下で床の動的変形挙動を測定できる床のかたさ測定装置を設計，試作することとした。

2.5.1.2 床のかたさ測定装置の荷重条件の設定

図-2.4に、吉岡，小野らが求めた歩行者が床に与える鉛直荷重（ p ）の時間（ t ）変化および足の接地状況との関係の代表例を示す²⁾。

図中、かかとの先端が床に触れてからかかと以外の部分が着地するまでの $t_0 \sim t_2$ における小さなピーク（ t_1 ， p_1 ）は、動作や履物の種類により生じる場合

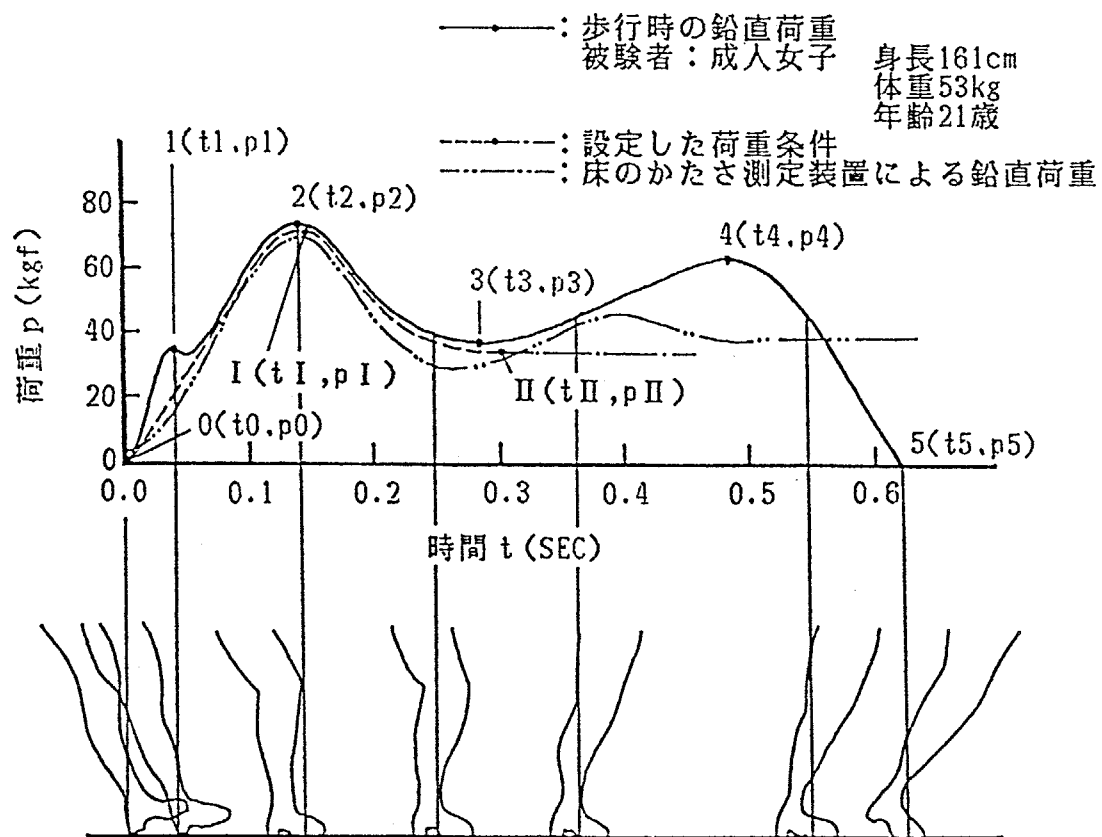


図-2.4 歩行者が床に与える鉛直荷重の時間変化および足の接地状況との関係の代表例と床のかたさ測定装置の荷重条件

と生じない場合がある。また、 p_2 , p_3 , p_4 , t_2 , t_3 , t_4 , t_5 は、他の既往の研究結果^{9), 25), 26)}と同様に体重、歩行速度ごとにほぼ一定の値が得られている。

一方床のかたさを感じる足裏のおもな箇所としては、つま先部分、かかと部分、足裏全体がほぼ同じ割合であることが、これまでに行われた調査の結果として報告されている¹⁾。

以上から、図に示した点線のごとき荷重を本装置に組み入れる荷重として設定した。点線で示した荷重は荷重の大きさ、荷重速度などが実情に非常に近似したものであり、さらに人間が床のかたさを感じる主要な部分($t_0 \sim t_3$)の荷重を近似しているので、置換する荷重として妥当と考える。

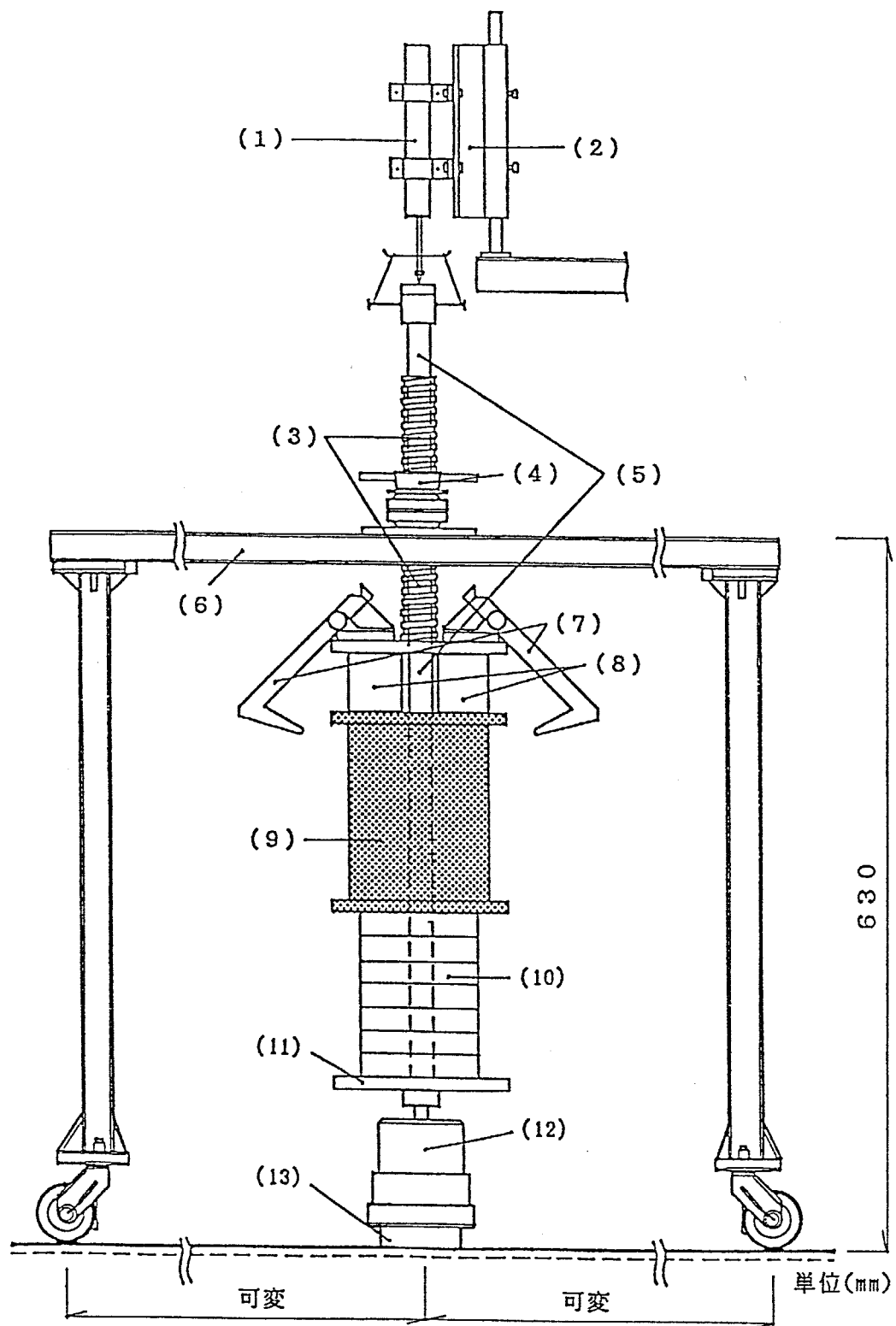
図中の p_I , t_I , t_{II} の値は、既往の研究²⁾を参考として、それぞれ約70kgf, 0.15sec, 0.3secとした。なお、 t_{II} 以降一定の荷重を載荷させるのは(一点鎖線)、将来居住性からみた床の振動性状を、人体の体重の影響等も含め実情と近似した状況で究明する際に必要となると思われる荷重条件として、付加させたものである。

2.5.1.3 床のかたさ測定装置の概要

2.5.1.2で設定した荷重条件下で実際の床を破損することなく動的変形挙動が測定可能なこと、操作が比較的簡単なこと、容易に運搬できることなどを条件として、図-2.5, 写真-2.5に示す床のかたさ測定装置を設計、試作した。

床に所定の荷重を与える荷重体は落下重錘(9)とゴムばね(10)からなり、電磁石(8)のスイッチを切って重錘を落下させ床に動的荷重を加えた後、引き続き重錘の重量がゴムばねを介して床に静的に載荷される形式となっている。

測定点に作用する荷重は荷重板(13)と受け板(11)の間に取り付けた荷重変換器(12)で、また測定点の変形はシャフト(5)頂部に取り付けた変位変換器(1)でそれぞれ測定する。変位変換器は不動とみなし得る支持体に取り



- | | |
|-------------------|------------|
| (1) 変位変換器 | (8) 電磁石 |
| (2) 変位変換器取り付け座 | (9) 重錘 |
| (3) 重錘取り付け座 | (10) ゴムばね |
| (4) 重錘取り付け座上下ハンドル | (11) 受け板 |
| (5) シャフト | (12) 荷重変換器 |
| (6) 重錘取り付け座支持架台 | (13) 荷重板 |
| (7) 重錘誤落下防止用安全装置 | |

図-2.5 床のかたさ測定装置の概要

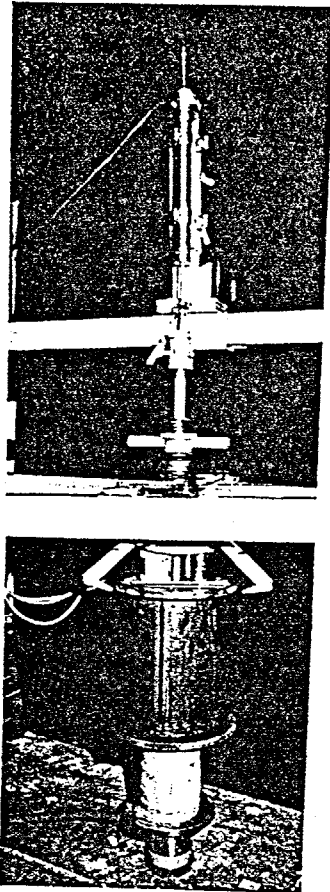


写真-2.5 床のかたさ測定装置

付ける。

なお重錘の重量，落下条件，ゴムばねなどの仕様の詳細は，設定した荷重条件を再現できるような組合せとして決定することとした。

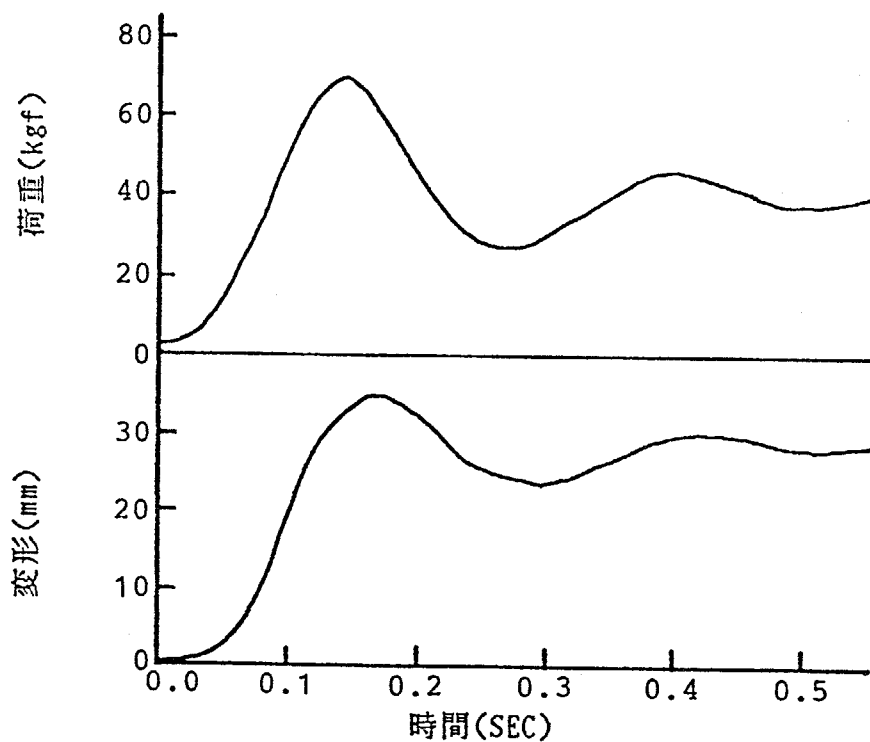
また荷重板として，既往の研究結果^{2)・17)}を参考につま先部分の実質最大接触面積の範囲を包含する面積を持つ直径7 cmおよび9 cmの鋼製円板を用意し，感覚尺度とよりよく対応する物理量を求め得るという観点からどちらか一方に決定することとした。

2.5.1.4 床のかたさ測定装置の仕様の決定

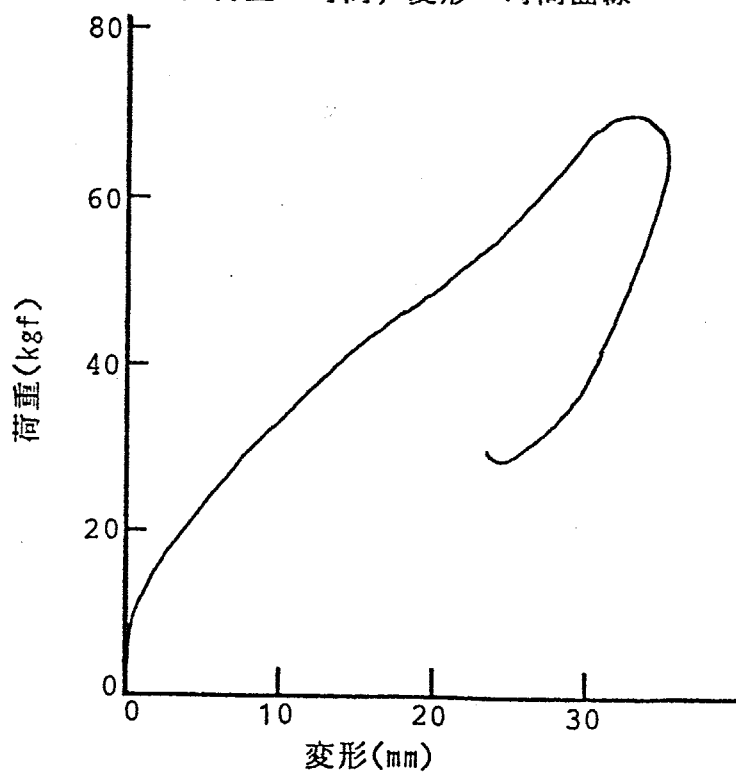
床のかたさ測定装置の仕様を決定するため，重錘の重量，落下高さ，ゴムばねを変えながら床に与える荷重を荷重変換器から求めた。なお本実験に用いた床の剛性は吉岡，小野らが用いた荷重解析装置²⁾の荷重受け板の剛性と等しくした。測定結果から，下記の条件で得られる荷重・時間曲線が図-2.4に二点鎖線で示したごとく設定した荷重条件と近似することが判明し，以下の組合せを本装置の荷重体の仕様とすることができた。

- ・重錘重量：40kgf
- ・重錘落下条件：重錘の下端とゴムばねの上端とを密着させた後，重錘を少しずつ下げながら3 kgfの初期静的荷重が作用する位置から落下。
- ・ゴムばね：厚さ2 cm，ショア硬度0の円形ゴムばね（外径10 cm，内径3 cm）7枚を積層したもの。なお使用したゴムばねは緩衝性の非常に高いゴムばねであり，剛床上で仕様どおりに重錘を落下させたときのゴムばね7枚の荷重・時間，変形・時間および荷重・変形曲線は図-2.6のとおりである。

図-2.7に，本装置の荷重体の安定性を確認する目的で，決定した仕様に従って重錘を落下させたときに測定される5回の荷重・時間曲線を重ね書きした結果を示す。図中，5つの曲線がほぼ一致していることから，本装置の荷重体が



(イ) 荷重・時間，変形・時間曲線



(ロ) 荷重・変形曲線

図-2.6 床のかたさ測定装置のゴムばねの特性

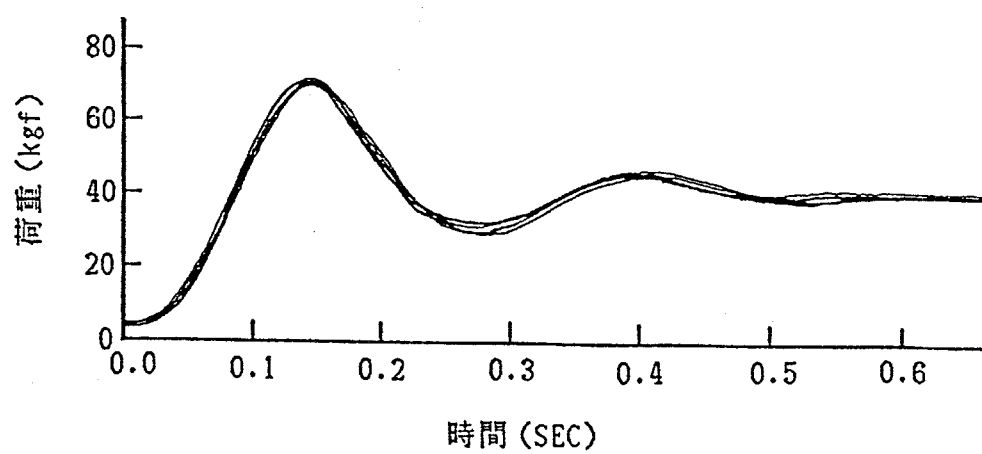


図-2.7 床のかたさ測定装置の荷重体の安定性

高い安定性を有していることがわかる。ただしゴムばねの特性は種々の要因で変化する可能性があるので、図-2.6を用いて常に較正を行うこととした。

2.5.2 床のかたさ測定装置による試料床の動的変形挙動の測定

2.5.1で設計、試作した床のかたさ測定装置を用いて、2.4の官能検査で用いた試料床の動的変形挙動を測定した。

図-2.8に測定の結果得られた荷重・時間曲線、変形・時間曲線、変形の開始（a点）から変形の復元が最大になる時点（c点）までの荷重・変形曲線の一例を、かたさを表示する物理量を設定するために必要と想定される基礎的物理量とともに示す。図中の基礎的物理量の意味は以下のとおりである。

U_{F1} (kgf・cm) : 床の変形の開始（a点）から変形が最大に達する時点（b点）までの床の変形エネルギー

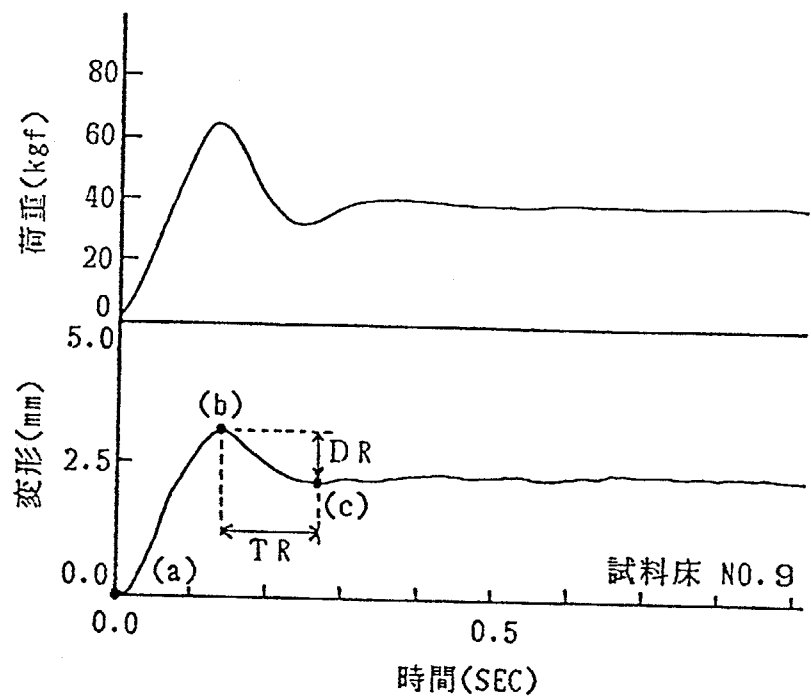
U_{F2} (kgf・cm) : 床の変形が最大に達した時点（b点）から、変形の復元が最大に達する時点（c点）までの床の残留変形エネルギー

D_R (cm) : 床の変形の最大復元量（b点とc点の変形量の差）

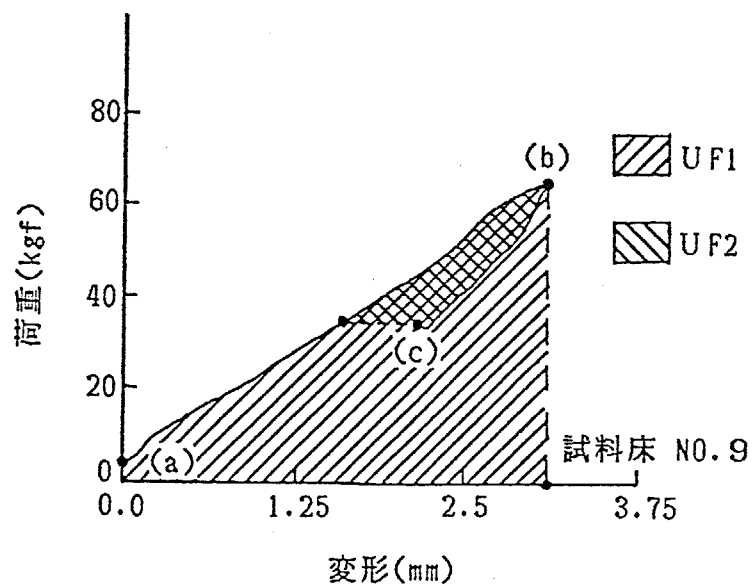
T_R (sec) : 床の変形の復元時間（b点からc点に達するまでに要する時間）

2.5.3 かたさ感覚尺度と対応する物理量の設定

吉岡、小野らの研究成果²⁾から、かたさ感覚尺度と対応する物理量として変形エネルギー U_{F1} と残留変形エネルギー U_{F2} を用いた $U_{F1} + A \cdot U_{F2}$ （A：定数）なる物理量が考えられる。さらに小野らが提示した体育館の床のかたさを表す物理量²⁰⁾と同じ考え方で、床の変形エネルギー U_{F1} から変形の復元量 D_R とその平均速度 $D_R \cdot T_R^{-1}$ の積を引いた $U_{F1} - B \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1}$ （B：定数）が想定できる。



(イ) 荷重・時間，変形・時間曲線



(ロ) 荷重・変形曲線

図-2.8 床のかたさ測定装置による試料床の動的変形挙動の測定結果の一例

以上からこれらの物理量の A , B を変化させてかたさ感覚尺度との対応を検討した結果、荷重板直径 7 cm の場合にいずれの物理量もよい対応が得られることが判明したが、本章では既往の研究²⁰⁾との共通性、解析の簡便さの観点から、 $U_{F1} - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1}$ (荷重板直径 7 cm) をかたさ感覚尺度と対応する物理量として設定することにした。ここで U_{F1} は床の緩衝性を、 $D_R \times D_R \cdot T_R^{-1}$ は床の復元の強さを示すもので、本章における床のかたさは両者の差として求められる物理量で示されることを意味する。なお定数 B の値は、数値を逐次変化させながら物理量を算出したうえで、かたさ感覚尺度との対応を検討し、いずれの尺度とも最もよい対応を示すように定めたものである。

表-2.6に、各試料床の U_{F1} , D_R , T_R , $U_{F1} - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1}$ の値を一覧にした。

図-2.9に2.4.2で構成したかたさ感覚尺度と $\log(U_{F1} - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1})$ との対応を示す。図中の点線は最小二乗法で求めた回帰直線であり、 r は相関係数である。(▲)で示したN0.1, 2の強く振動する試料床は一部の場合を除き対応から外れているが、かたさの判断に振動の要因が影響したためと考えられる。(▲)以外の試料床では物理量とかたさ感覚尺度との間に高い相関があることから、 $U_{F1} - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1}$ が歩行時のかたさ感覚尺度と対応する物理量として妥当であること、さらに動作や履物が異なった場合のかたさ感覚尺度ともよく対応していることから、歩行以外の動作の場合に人間が感じる床のかたさも、設定した物理量で表示できることがわかる。

以上から、強く振動する床を除いた床のかたさを表示する物理量として、床の材料・構法、動作、履物のいかににかかわらず、 $U_{F1} - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1}$ を設定できたと考える。なお参考として、定数 B の値を 1 とした場合および 20 とした場合の $\log(U_{F1} - B \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1})$ とかたさ感覚尺度との対応の一例を図-2.10に示す。

表 - 2.6 試料床の物理量測定結果

試料床 NO	UF1 (kgf・cm)	DR (cm)	TR (sec)	$UF1 - 8 \cdot$ $DR \times DR \cdot TR^{-1}$
1	3.400	0.0411	0.101	3.2662
2	9.025	0.1495	0.115	7.4702
3	2.763	0.0334	0.132	2.6954
4	9.536	0.1323	0.124	8.4068
5	8.721	0.1207	0.125	7.7886
6	14.394	0.1942	0.097	11.2836
7	5.388	0.0779	0.110	4.9467
8	14.590	0.1649	0.113	12.6649
9	11.128	0.1076	0.127	10.3987
10	4.099	0.0493	0.112	3.9254
11	9.754	0.0649	0.128	9.4908
12	2.667	0.0292	0.126	2.6129
13	2.355	0.0237	0.093	2.3067
14	25.300	0.2421	0.115	21.2226
15	2.038	0.0193	0.105	2.0096
16	2.180	0.0166	0.103	2.1586
17	27.251	0.2755	0.125	22.3934
18	6.061	0.0709	0.095	5.6377
19	3.490	0.0354	0.082	3.3677
20	35.508	0.3429	0.128	28.1592
21	6.800	0.0376	0.101	6.6880
22	1.040	0.0067	0.121	1.0370
23	6.670	0.0215	0.109	6.6361
24	1.150	0.0065	0.095	1.1464
25	2.830	0.0289	0.115	2.7719
26	13.275	0.0958	0.099	12.5334
27	32.200	0.2909	0.130	26.9925
28	0.000	0.0000	—	—

かたさ感

かたさ感

かたさ感

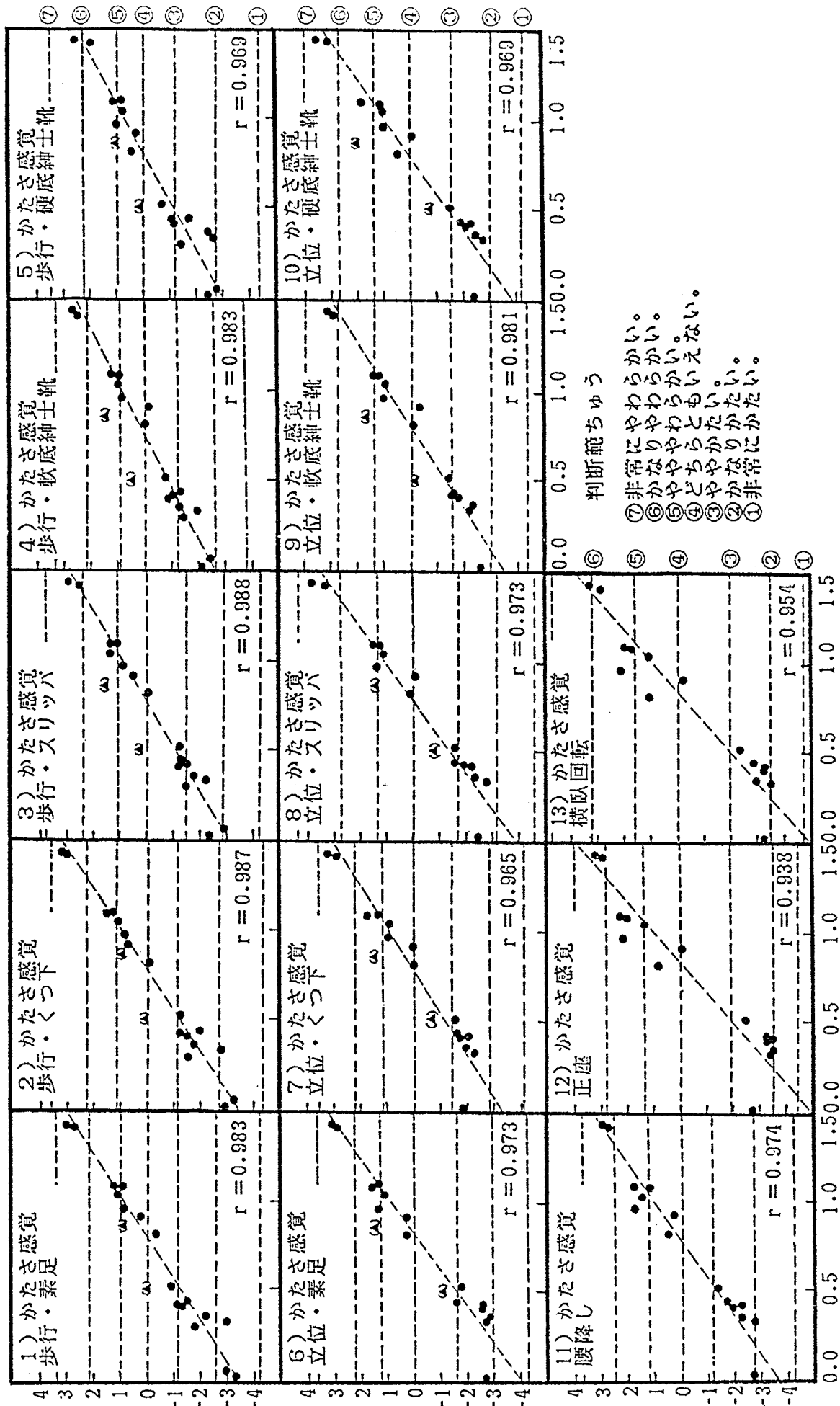
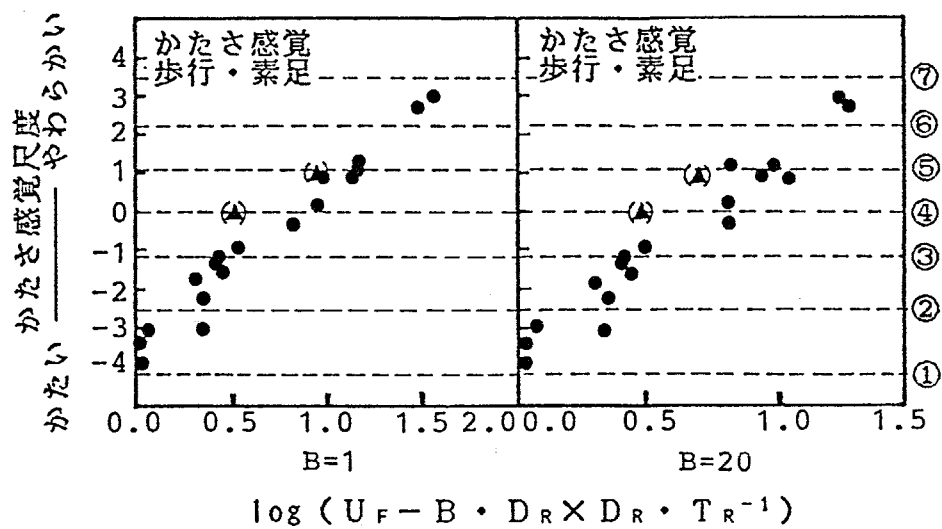


図-2.9 $\log(U_F - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1})$ とかたさ感尺度との関係



判断範ちゅう

- ⑦非常にやわらかい。
- ⑥かなりやわらかい。
- ⑤やややわらかい。
- ④どちらともいえない。
- ③ややかたい。
- ②かなりかたい。
- ①非常にかたい。

図-2.10 $\log(U_{F1} - B \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1})$
とかたさ感覚尺度との関係の一例

2.6 床のかたさの評価指標の提示

2.6.1 かたさ評価尺度と物理量との対応

図-2.11に2.4.2で構成したかたさ評価尺度（かたさ適性尺度，長期疲労予測尺度）と2.5.3で設定した物理量との対応を示す。図中の①～⑦，①～⑤の破線は表-2.1に示した各判断範ちゅうの位置を示している。

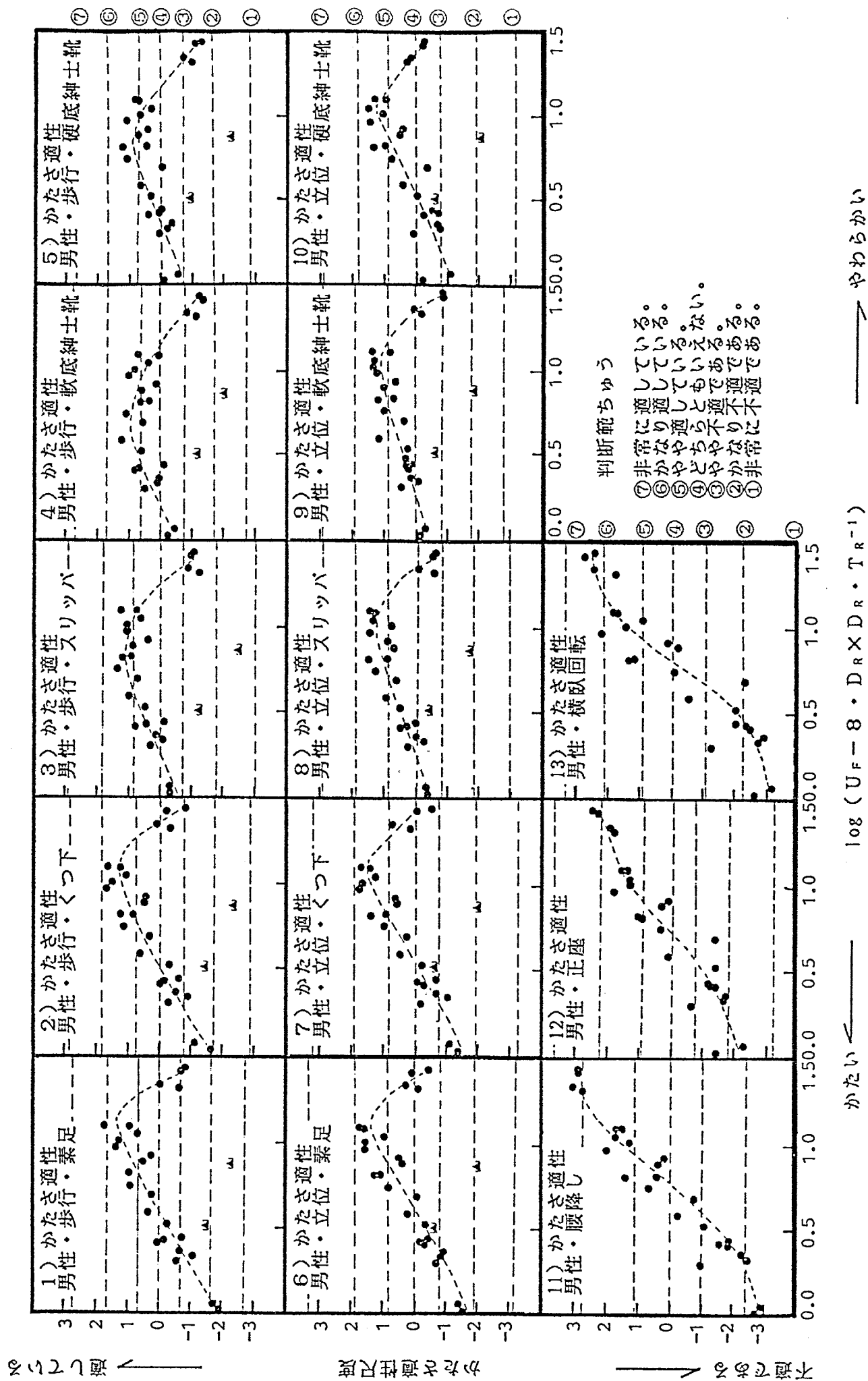
図-2.9と同様、（▲）で示した強く振動する試料床NO.1，2は、一部の場合を除き対応から外れており、かたさの評価判断にも、振動の要因が影響したことが明かである。またこのような傾向は、体育館の床を対象とした小野らの研究²⁰⁾でも表れており、強く振動する床では、刺激をかたさとしてとらえること自体が、心理的に困難になることを示していると考えられる。このことから本章では、強く振動する床はかたさの評価の対象から除外することとし、以降の考察は（▲）の床を除いて行うこととした。なお動作時に感じられる床振動の評価方法は、第3章で詳細に検討する。

（▲）以外の試料床では、すべてにおいて点線で示したごとく両者の対応の中心傾向を示す曲線を描くことができる。このことから、物理量 $U_{F1} - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1}$ により床のかたさの定量的評価を行えることが明らかになったといえる。

さらに図-2.11から、以下の点が考察できる。

- ・歩行，立位では、女性・中ヒールの場合を除きかたさの最適値が表れており、かたすぎる床もやわらかすぎる床も評価は低下することがわかる。これは日常生活において経験的に得られる知見と一致する。女性・中ヒールの場合、ほかの履物では最適なやわらかさでも足元の不安定さが卓越するなどの理由で、評価に明確な差が生じないものと推察される。

- ・歩行・立位では履物の有無，種類によりかたさの最適値などに差異がみられ



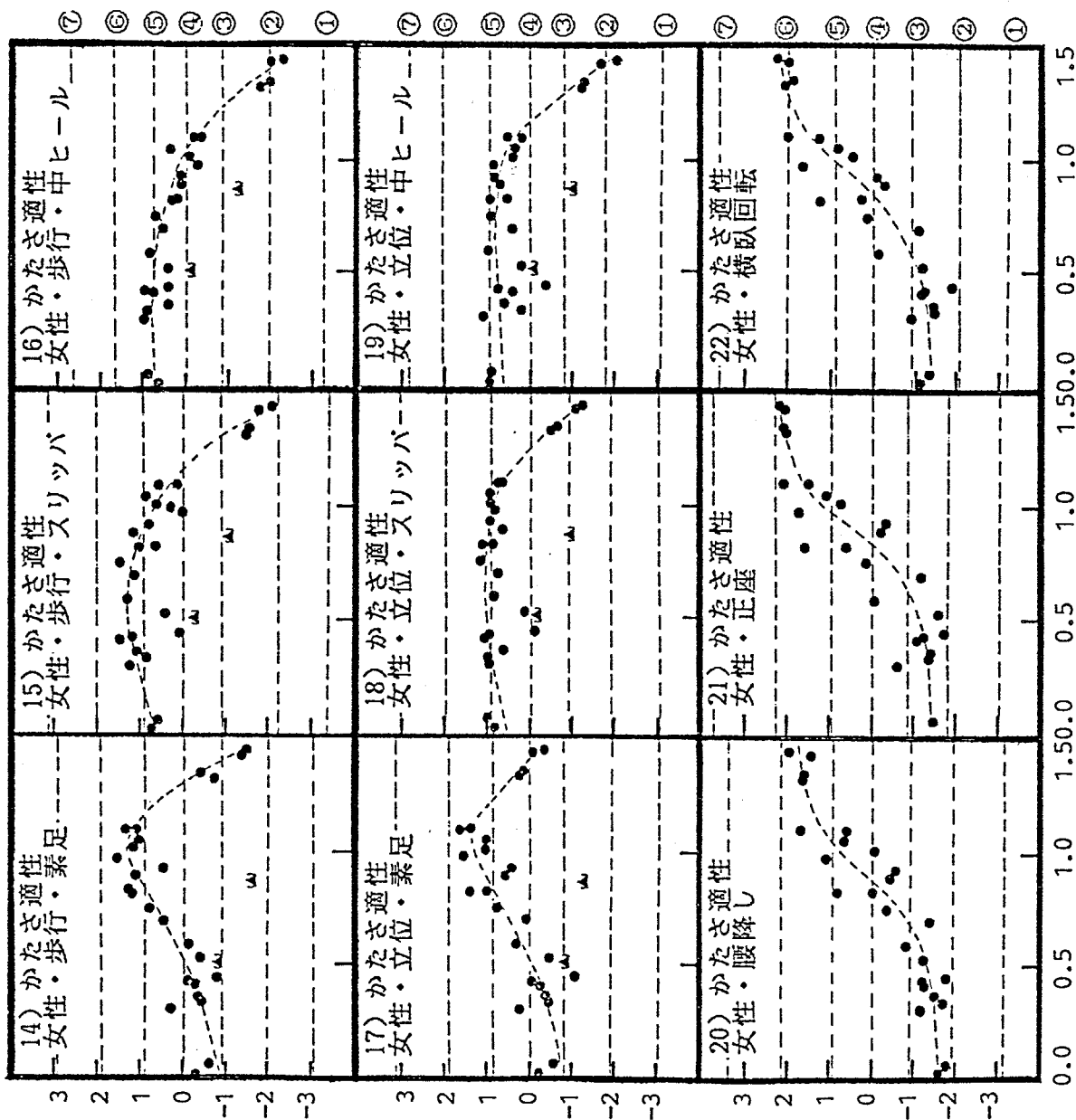
(イ) かたさ適性尺度・男性

図-2.11 $\log(U_F - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1})$ とかたさ評価尺度との関係

↑ 適性尺度

↑ 適性尺度

↑ 適性尺度



判断範ちゅう
 ⑦ 非常に適している。
 ⑥ かやどやちやない。
 ⑤ 適している。
 ④ やちやない。
 ③ かやどやちやない。
 ② 非常に適している。
 ① 適している。

かたい ← $\log(U_F - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1})$ → やわらかい

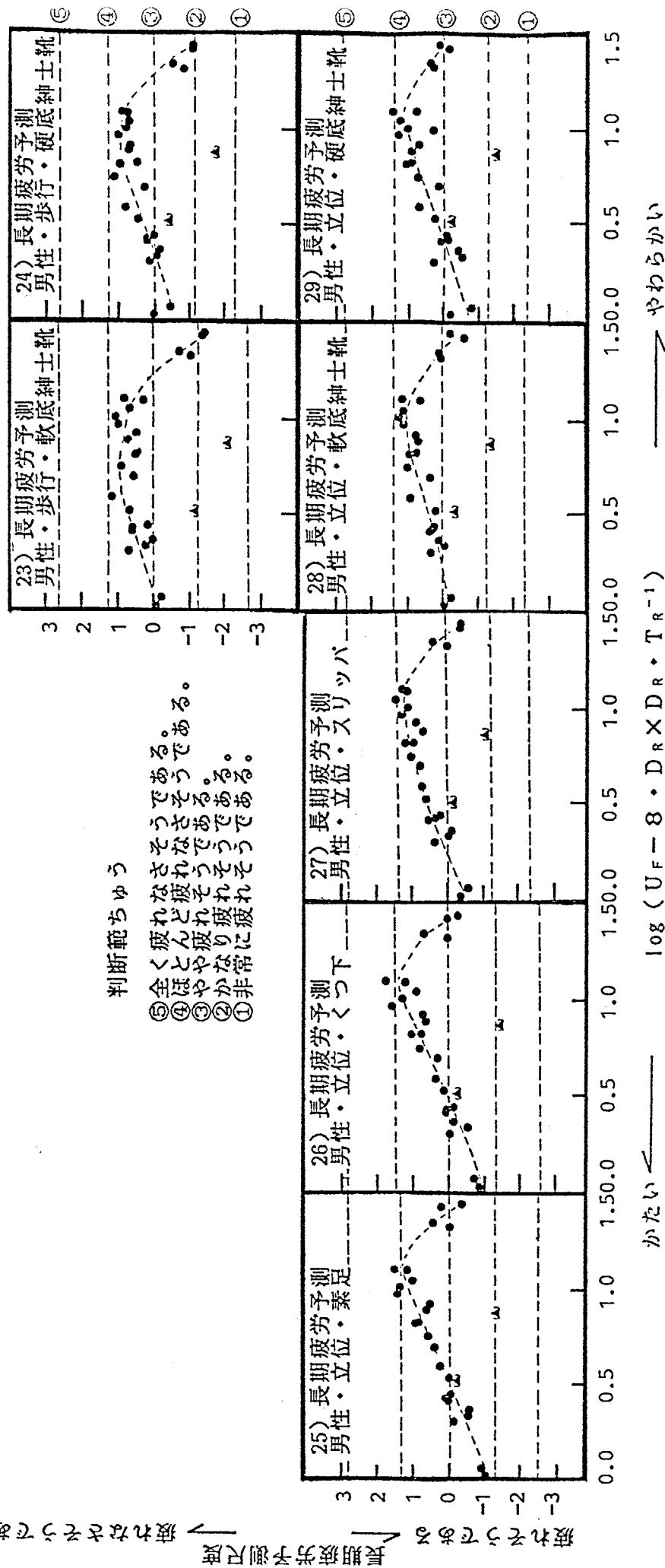
(口) かたさ適性尺度・女性

図-2.11 $\log(U_F - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1})$ とかたさ評価尺度との関係

疲れそうである
→ 長期疲労予測尺度
← 疲れなさそうである

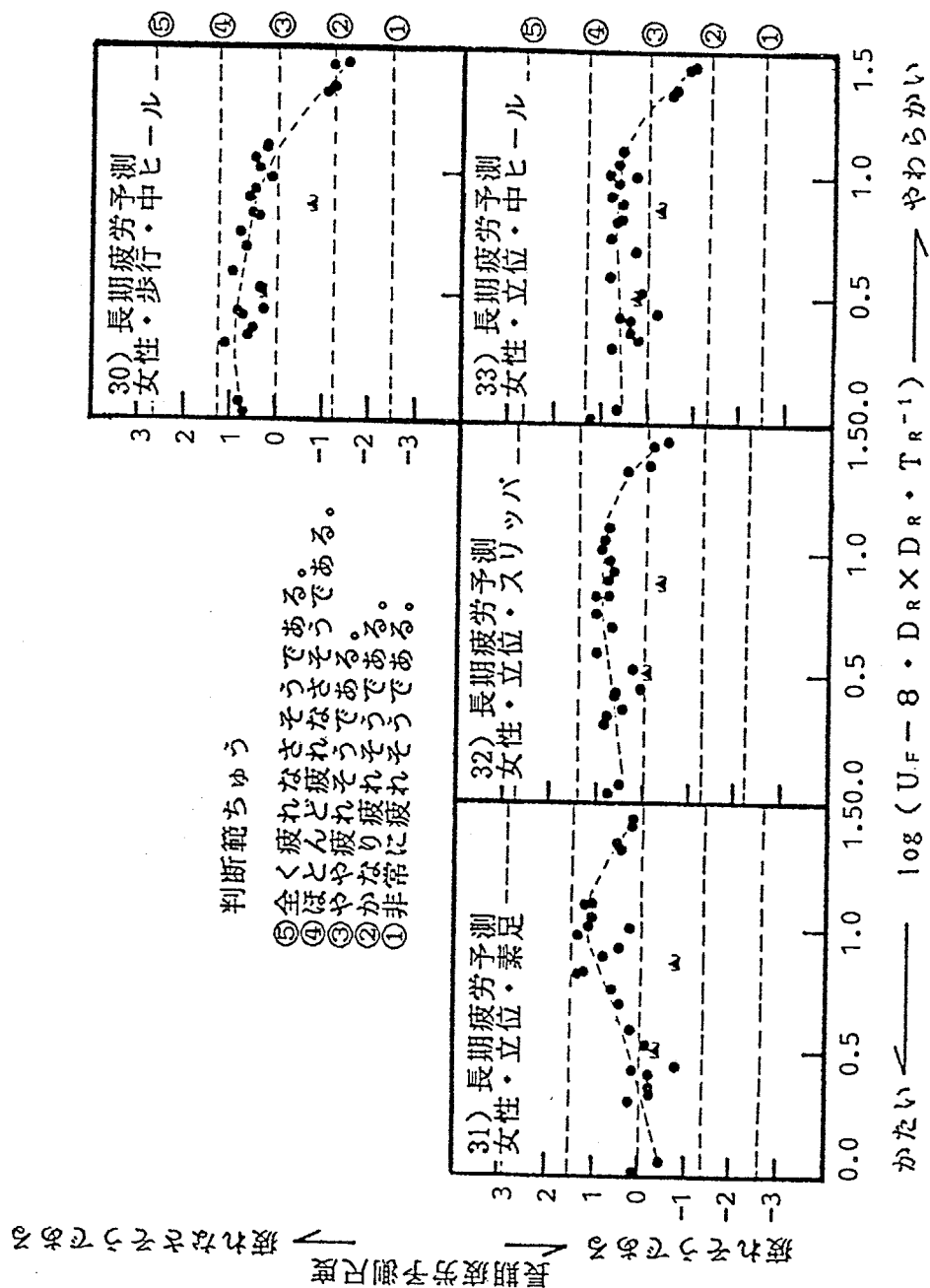
判断範ちゅう

- ⑤ 全く疲れなさそうである。
- ④ ほとんど疲れなさそうである。
- ③ やや疲れなさそうである。
- ② かなり疲れなさそうである。
- ① 非常に疲れなさそうである。



(ハ) 長期疲労予測尺度・男性

図-2.11 $\log(U_F - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1})$ とかたさ評価尺度との関係



(二) 長期疲労予測尺度・女性

図-2.11 $\log(U_F - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1})$ とかたさ評価尺度との関係

る。つまり、素足，くつ下の場合比較的やわらかい床が好まれ、かたすぎる床の評価が大きく低下するのに対し、スリッパ，軟底紳士靴では逆の傾向がうかがえる。さらに、女性・中ヒールの場合を除き、やわらかい履物ほどかたい床が好まれていることから、人間は床と履物を複合してかたさを評価していると考えられる。このことから、図-2.11を用いて2.4.1.5で選定しなかった様々な履物でのかたさの最適値などの評価指標を2.4.1.5で選定した履物のやわらかさとの比較から類推することや、実際の使用が想定される履物のやわらかさから対象とする床に要求されるかたさの最適値などを推定することも可能と考えられる。

- ・履物の有無，種類によるかたさの最適値などの差は、立位より歩行でより顕著に表れている。また履物が同一の場合歩行より立位の方がやややわらかい床が好まれる傾向があり、特にスリッパ，軟底紳士靴，硬底紳士靴の場合に顕著に表れている。これらは動作の激しさの差によるものと思われる。すなわち立位と比較して動作の激しい歩行では、履物のやわらかさの影響を受けやすく、また動作を行うための効率の観点から適度なかたさが要求されるためと思われる。

- ・腰降し，正座，横臥回転では、やわらかい床ほど評価が高くなっている。

- ・動作，履物が同一の場合、女性は男性よりややかたい床を好み、やわらかすぎる床をよりきらう傾向がある。

- ・かたさ適性尺度と長期疲労予測尺度とは、かたさの最適値などが動作，履物，性の条件ごとに近似しており、歩行や立位でかたさが適当な床では長期疲労の観点からも疲れにくいと予測されている。

以上、動作，履物，性，評価の観点の各要因ごとに両者の対応を詳細に比較し、一部の場合を除き各要因により最適値などに差異が生じることを確認した。それゆえ、本章ではこれらを重要な要因として取り入れたうえで、かたさの評

価指標を提示することとした。

2.6.2 床のかたさの評価指標の提示

図-2.11から動作、履物、性、評価の観点ごとにかたさの最適値と、仮に範ちゅう④” どちらともいえない” および範ちゅう③” やや疲れそうである” を許容基準とした場合の許容範囲（例）を求め、図-2.12に一覧にした。また2.6.1で述べた考察と図-2.11、図-2.12から床の用途別の $\log(U_{F1} - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1})$ の最適範囲および許容範囲（例）を、各々の用途に対応するいくつかの対応図から以下のように求めた。

・素足、くつ下での歩行、立位などの動作に加え、腰降し、横臥回転などの動作も行われると想定される一般住居の居室などの床の場合（図-2.11、図-2.12の1）、2）、6）、7）、11）、12）、13）、14）、17）、20）、21）、22）、25）、26）、31）より）、

最適範囲 : 1.00~1.15

許容範囲（例）: 0.85~1.30

・おもに素足、くつ下、スリッパなどでの使用に供すると思われる、一般住居の廊下などの床の場合（図-2.11、図-2.12の1）、2）、3）、6）、7）、8）、14）、15）、17）、18）、25）、26）、27）、31）、32）より）、

最適範囲 : 0.65~1.15

許容範囲（例）: 0.60~1.20

・事務所、学校、病院など、不特定多数の人間が様々な履物で土足のまま歩行、立位で利用する建築物の床の場合（図-2.11、図-2.12の4）、5）、9）、10）、16）、19）、23）、24）、28）、29）、30）、33より）、

最適範囲 : 0.70~1.05

許容範囲（例）: 0.50~1.10

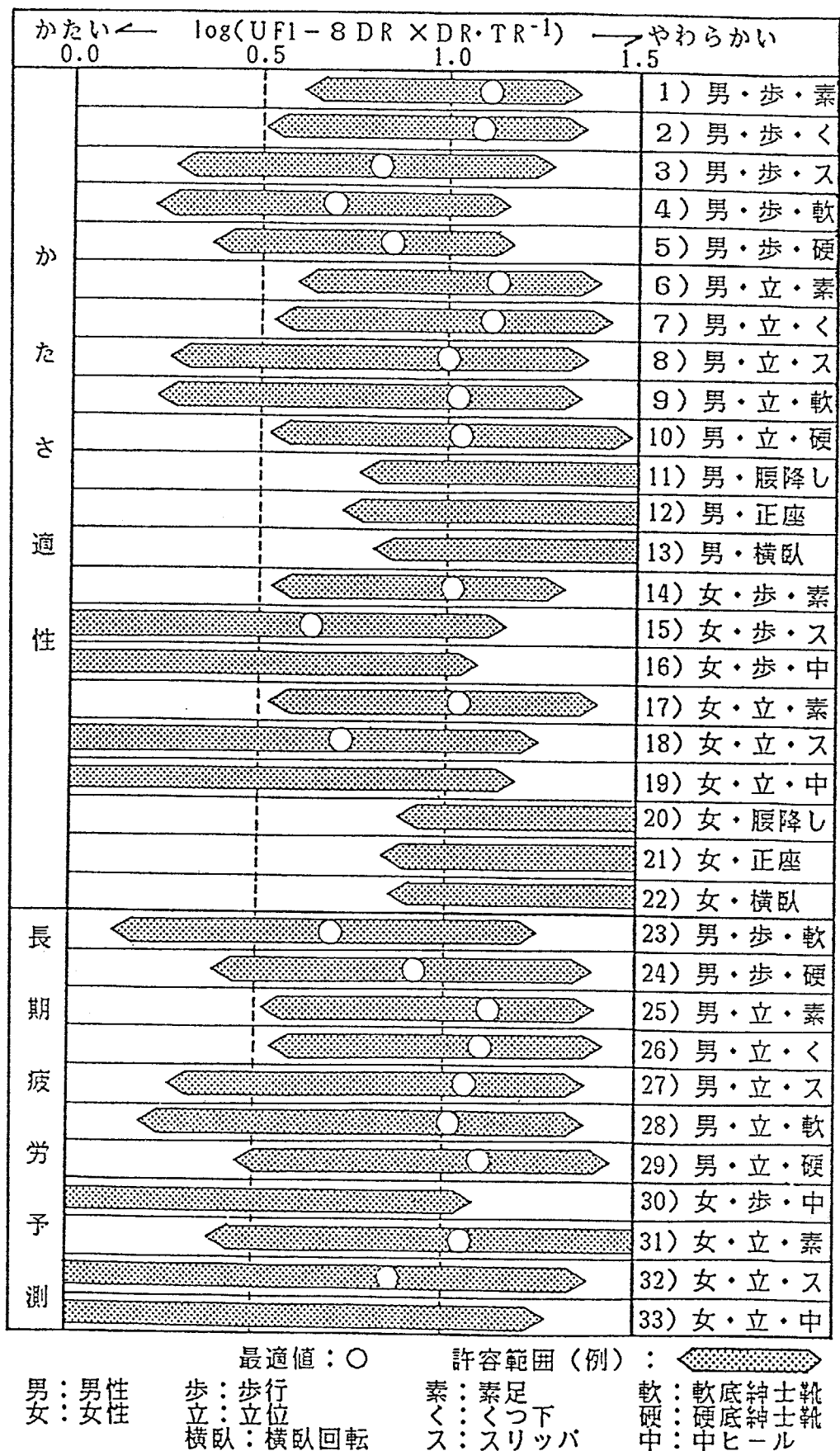


図-2.12 かたさの最適値および許容範囲（例）

このほかにも種々の用途，使用状況に応じた最適範囲，許容範囲（例）が、図－2.11，図－2.12から同様の方法で求められるものとする。

以上に述べた $\log(U_{F1} - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1})$ の最適範囲，許容範囲（例）と、図－2.11，図－2.12を床のかたさの評価指標として提示する。ただし許容範囲はあくまでも範ちゅう④” どちらともいえない” および範ちゅう③” やや疲れそうである” を仮に許容基準とした場合の一例であり、実際には状況に応じて許容基準を策定し、図－2.11から許容範囲を求めるのが妥当と言える。

2.7 床のかたさの評価方法の提示

強く振動する床を除く多種，多様な床のかたさの評価方法および手続きを以下のように提示する。

- 1) 床のかたさ測定装置を用いて、対象とする床の物理量 $\log(U_{F1} - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1})$ を求める。
- 2) 求めた $\log(U_{F1} - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1})$ を2.6.2で提示した床のかたさの評価指標に照合して、対象とする床のかたさを評価する。

以上であるが、評価においては対象とする床の用途，使用状況，用いられる履物のやわらかさなどから適宜該当する評価指標を用いる必要がある。

なお、対象とする床が根太床，置床などの架構式の床の場合、床の位置によりかたさが異なるものと思われる。このような場合、現段階では根太，大引，束などの位置および実際の使用時の動作位置などを考慮して、かたさの観点から代表的ないくつかの点を測定点として選定するのが基本的な方法となる。なおかたさの差が存在する床のかたさの厳密な評価については、今後の課題としたい。

以上、提示した評価方法は試料床を媒体として求めたものであるが、2.4.3で実際床と試料床の評価に差異がないことを実証しているため、一般性は十分確

保されているといえる。

ただし2.6.2で求めた評価指標の適用に当たっては、振動により居住性が低下しない床の場合に限定して用いるべきこと、かたさは床の居住性を左右する要因のひとつであるので、かたさのみに注目して床の性能を低下させることのないような配慮が必要であることの2点に留意する必要がある。

2.8 本章の結論

本章の結論は以下のとおりである。

- 1) 居住性からみた建築物床のかたさに関し、床の材料・構法，動作，履物，性の観点からより多様性をもたせたかたさ感覚尺度およびかたさ評価尺度を官能検査手法により構成し、様々な考察を加えてその有効性を確認した。
- 2) 歩行者が床に与える鉛直荷重を参考に、実情に即した条件下で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設計，試作した。
- 3) 床のかたさ測定装置で測定される床の動的変形挙動から、1)で構成した種々の動作，履物でのかたさ感覚尺度と対応する物理量 $U_{F1} - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1}$ を設定した。
- 4) $U_{F1} - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1}$ と、1)で構成したかたさ評価尺度との関係を検討し、床のかたさの評価指標を提示するとともに、床の材料・構法，動作，履物，性，評価の観点を多様化した、より汎用性の高い床のかたさの評価方法を究明した。

第 3 章 居住性からみた建築物床の鉛直方向の振動の評価方法
 （振動発生者と受信者が同じ場合）

3.1 本章の目的，範囲

人間の動作により発生する床の鉛直方向の振動は、動作時の床の挙動から感じられる性能のうち、かたさとともに、居住性の観点から重要な性能のひとつといえる。

第2章では、歩く、立つ、座るなどの日常的な動作に供する床を対象として、人間が歩行時に床に与える鉛直荷重と近似した動的荷重を作用させたときの床の鉛直方向の挙動を測定できる床のかたさ測定装置を開発し、床のかたさの評価方法を提示するとともに、強く振動する床ではかたさの判断に振動の要因が大きく影響することを述べた。さらに近年、床の剛性の低下、軽量化、床構造の大スパン化にともない、歩行などの動作により床振動が発生し、日常生活にさしさわりが生じたり、居住者が不安感を感じるなどの例が多くなる傾向にあり、居住性の観点からの床振動の妥当な評価方法の確立が望まれている²⁷⁾。

28)，29)，30)，31)。

人間の動作により発生する床振動の居住性からみた評価方法はこれまでにいくつか提示されているが、いずれも特に適用できる床の用途，材料・構法の観点から十分とはいいがたく、このため現在では、床振動の実測値をマイスター曲線などの振動感覚スケールに照合して評価する方法が、最も一般的な方法となっている。しかし歩行時に発生するような減衰をともなう振動を、定常振動に対して与えられたマイスター曲線などに基づいて、振動数と振幅の関係のみで的確に評価できるかどうかは疑問であることが、いくつかの報告^{27)，28)，30)，32)}において指摘されている。

本章の目的は、人間の種々の動作により発生する床の鉛直方向の振動を動作する人間が感じる場合の振動感覚上の大きさを表示する物理量およびその測定方法を設定し、さらにこの物理量と人間の床振動に対する評価との関係から、居住性からみた床振動の評価指標を求め、これらの結果から最終的に振動発生

者と受振者が同じ場合の床振動の評価方法を確立することにある。

本章で対象とする床は特に限定せず、住居、事務所、学校などで日常一般的な動作に供する床全般を対象とする。また本章では、地震、風などの自然外力ならびに道路、鉄道、工事現場など建築物外の振動源により発生する床振動や、建築物内の設備機器等により発生する床振動などは、対象外とする。

なお振動発生者と受振者が異なる場合については第4章で述べる。

3.2 本章と関連する既往の研究

振動に対する人間の感覚に関する研究は、多くの分野で古くからなされている。なかでも定常振動を対象とした研究例は多く、その成果としてマイスター曲線や三輪らの提案した振動感覚レベル値（VGL）をはじめ、数多くの振動感覚スケールが提示されている^{33), 34), 35)}。また減衰をとまなう振動の感覚に関する研究としては、労働環境、公害振動の分野で問題となっている、鍛造工場、くい打ち作業場などで発生する衝撃振動を対象とした三輪らの研究³⁶⁾が知られているほか、いくつかの振動感覚スケールが提示されている^{30), 37)}。

しかしこれらの研究をはじめ人間の振動感覚に関する研究の多くは振動の発生源と受振者側の振動感覚を分離して扱ったものであり、本章で対象とする振動発生者と受振者が同じ場合の振動感覚について扱った研究例は非常に少ない。

人間の動作により発生する床振動の振動感覚を、振動発生者と受振者が同じ場合も含めて扱った研究としては、木質系床を対象とした安藤らの研究³⁸⁾、³⁹⁾、小林らの研究^{40), 41)}および体育館床を対象とした小野らの研究²⁰⁾があり、それぞれ実用的な床振動の感覚上の大きさを表示する物理量や、その測定方法が提示されている。これらの貴重な研究成果は参考になるが、対象としている床の使用目的、材料・構法および人間の動作などがそれぞれ限定されており、さらに床振動に対する人間の反応の定量化がなされていないため、これらの成

果を本章に適用するには十分な検討が必要と考える。なおこれらのおもな研究成果の本章に対する適用性については、以降で逐次検討することとする。

一方、居住性からみた床振動の評価に関しては、床振動の実測値を上述の振動感覚スケールに照合して評価した例がこれまでに多数報告されているほか（これらの研究例の個々の紹介は省略する）、長スパン構造床を対象とした榎田らの研究²⁹⁾および上述の安藤らの研究^{38), 39)}、小林らの研究^{40), 41)}、小野らの研究²⁰⁾において、振動発生者と受振者が同じ場合も含めた実用的な床振動の評価方法が提示されている。しかし日常的な動作に供する種々の用途、材料・構法の床全般を対象とした床振動の評価方法を究明した例はみあたらない。さらに床振動に対する人間の評価を、数量的に意味のある尺度の段階まで定量的に求めた研究例はみあたらない。

なお、関連する既往の研究として、床の振動性状を定量的に把握するための基礎的資料となる、人間が歩行時などに床に与える荷重の性状や、人体の振動特性に関する研究など、多数の報告があることも附記する。

3.3 本章における研究方法

本章における研究方法および手続きは以下のとおりである。

- 1) 振動性状の異なるいくつかの試料床を製作し、官能検査手法を用いて各種動作時に発生する試料床の鉛直方向の振動に対する人間の感覚上の反応を求め、尺度構成理論^{21), 22)}を適用して床振動の感覚上の大きさを表す心理学的尺度（以降、振動感覚尺度と記す）を構成する。
- 2) 人間が各種動作時に床に与える荷重や床振動に影響を及ぼすと考えられる人体の特性などを考慮しながら、人間の動作時と近似した荷重条件下で床を加振したときの床の鉛直方向の振動を受振できる、床振動測定装置を開発する。
- 3) 1)で構成した振動感覚尺度と、2)で開発した床振動測定装置で測定される

床の挙動から得られる種々の物理量との対応を検討し、床振動の感覚上の大きさを表示できる妥当な物理量を設定する。

4) 1)と同様の試料床を用い、官能検査手法を用いて各種動作時に発生する試料床の鉛直方向の振動に対する人間の評価判断を求め、尺度構成理論^{21), 22)}を適用して、床振動がどの程度気になるか、さしさわるかなどを定量的に表す心理学的尺度（以降、振動評価尺度と記す）を構成する。

5) 4)で構成した振動評価尺度と、3)で設定した物理量との対応を検討し、居住性からみた床振動の評価指標を提示する。

6) 3)で設定した物理量の測定上の留意点、5)で提示した評価指標の使用方法を整理し、居住性からみた床振動の評価方法として提示する。

以上、床振動測定装置で求める床の振動性状と人間の心理的反応との対応を軸に研究を進めるが、人間の生理的反応による裏付けなどに関しては、今後の課題としたい。

3.4 床の振動感覚に関する官能検査および振動感覚尺度の構成

3.4.1 官能検査の概要

振動感覚に関する官能検査の検査手法、試料床、検査員、動作、履物などを表-3.1に一覧にした。以下におもな事項について説明を加える。

3.4.1.1 構成する尺度

構成する尺度は、種々の動作時に感じられる床振動の感覚上の序列を表す、振動感覚尺度とした。

3.4.1.2 検査手法の選定

表－3.1 振動感覚に関する官能検査要領一覧

構成する尺度		振動感覚尺度		
尺度構成手法		一対比較法		
判断範ちゅう		試料 i と試料 j の鉛直方向の振動を比較すると、 ⑤ i より j の方が、非常に振動すると感じる。 ④ i より j の方が、やや振動すると感じる。 ③ i と j とは、同じである。 ② j より i の方が、やや振動すると感じる。 ① j より i の方が、非常に振動すると感じる。		
試料床		12体		
検査員		成人男女12名（21～29歳）		
履物		くつ下	硬底靴	
動作	歩行	○	○	○：検査を実施した組合せ ×：検査を実施しなかった組合せ
	足踏停止	○	○	
	跳躍着地	○	×	

検査手法として、この種の検査における手法として適切であることが実証されている¹⁹⁾、一対の試料を判断範ちゅう（表－3.1に示す）を用いて比較判断するシェッフェー中屋の一対比較法^{21), 22)}を選定した。

3.4.1.3 試料床の設定

検査に用いる試料として図－3.1に示す重量可変パネルとコイルスプリングからなる形式の試料床を製作した。この試料床はコイルスプリングの剛性および減衰特性、パネル重量を変えることで、振動性状を種々変化させることができる。本検査では図－3.1に示したごとくパネル重量、コイルスプリングの剛性および減衰特性の組合せが異なる12体の試料床を検査試料として設定した。写真－3.1に検査室に設置した試料床の設置状況を示す。なお試料床の製作および設定にあたっては、以下の点に留意した。

- ・実在する床の振動性状のうち、居住性の観点から問題となると思われる範囲を十分包含する試料群とする。
- ・検査員に疲労，倦怠を感じさせない試料数とする。
- ・所定の動作を行うのに十分な大きさとする。
- ・検査期間中、振動性状が変化しないような試料とする。

3.4.1.4 検査員の選定

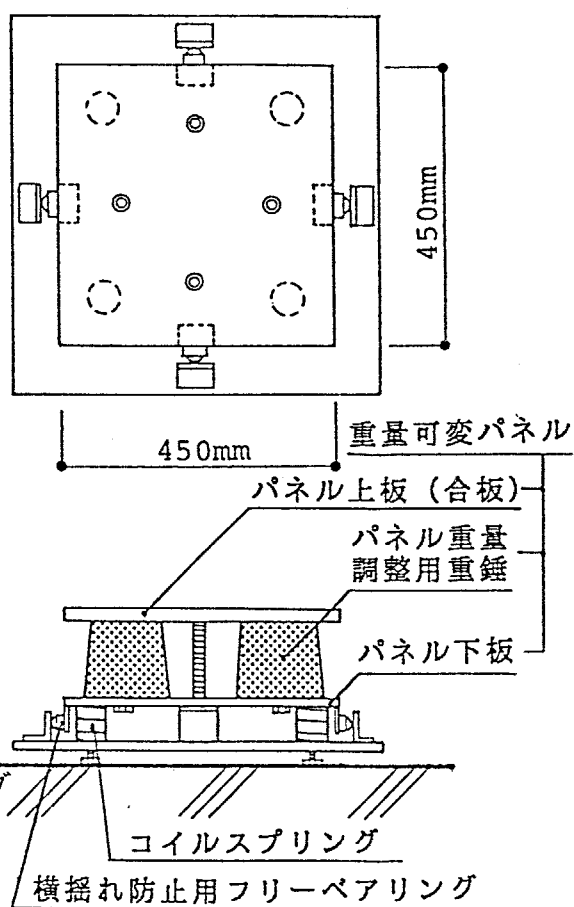
検査員として、ふたつの振動の感覚上の大小の比較判断に検査員の年齢などの層による差は小さく、感覚上の振動の大小の序列は大きく異ならないものとみなし、成人男女計12名（21～29歳）を選定した。

3.4.1.5 動作，履物の選定

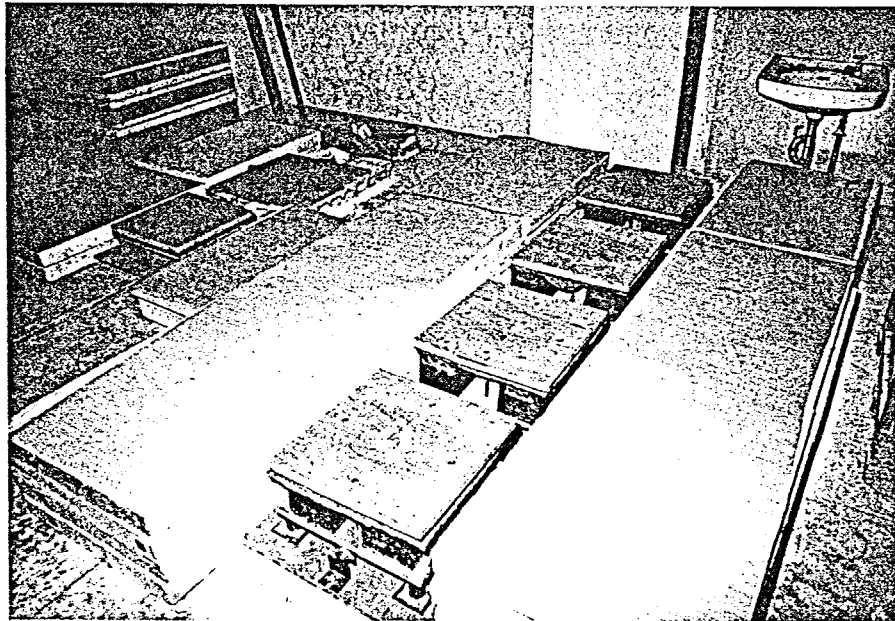
本章では振動を発生させる動作を行う人間自身が感じる床振動を課題とする

NO	W	k	f
1	10	32.6	17.40
2	10	260.0	36.36
3	37	32.6	9.34
4	37	120.8	16.15
5	37	260.0	21.92
6	37	833.3	29.85
7	100	120.8	10.75
8	100	260.0	13.85
9	100	(32.6)	11.70
10	100	(333.3)	23.21
11	300	833.3	15.40
12	300	(120.8)	13.23

NO : 試料床ナンバー
 W : パネル重量 (kg)
 k : 使用したコイルスプリング
 の剛性 (kgf/cm)
 (k) : ウレタンでラップした
 コイルスプリングを使用
 f : 試料床の固有振動数 (Hz)



図－3.1 振動感覚に関する官能検査の試料床の概要



写真－3.1 試料床の設置状況

観点から、対象とする床における代表的かつ一般的動作として、歩行、足踏→停止（以降、足踏停止と記す）、跳躍→着地（以降、跳躍着地と記す）の3動作を選定した。つまり歩行動作では試料床と同一の高さに設定した補助床から試料床上中央部に一步着地して通り抜けるときに感じる振動、足踏停止動作では試料床上中央部で数歩足踏みした後停止した状態で感じる振動、跳躍着地動作では試料床上中央部で跳躍後着地した状態で感じる振動を各々判断させることとした。なお動作を規制することによる判断の乱れをなくするため、各々の動作に関し各検査員ごとに自然な動作とした。

また履物として、薄手のくつ下と硬底靴を選定した。ここで薄手のくつ下は、できるだけ素足に近い状況でかつ床のすべりや表面温などの要因をできるだけ一定にする目的で採用したものである。写真-3.2に選定した硬底靴を示す。

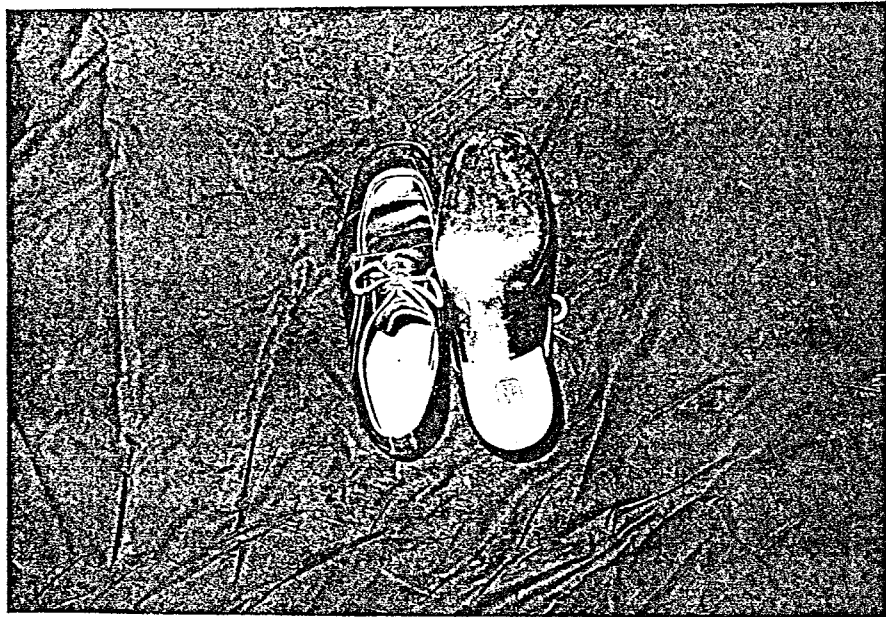
検査を実施した動作、履物の組合せは表-3.1に示したとおりであるが、硬底靴による跳躍着地の動作は一般的には少ないと考え、組合せから除外した。

なお本検査で選定しなかった動作、履物での振動感覚については、本検査結果に基づいて検討を加えることとした。

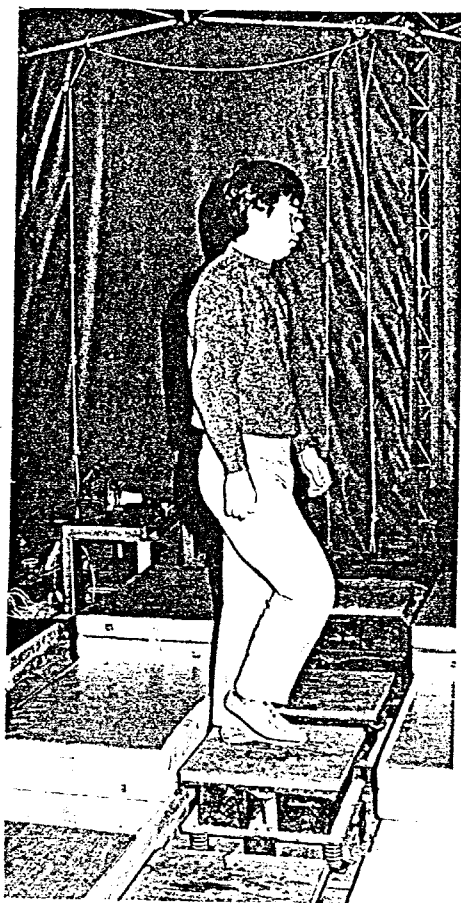
3.4.2 官能検査経過、結果および振動感覚尺度の構成

3.4.1に述べた条件のほかに、床の鉛直方向の振動以外の要因は判断にいけないこと、動作の速さ、激しさなどは各検査員ごとに検査中ほぼ一定に保つこと、疲れたら自由に休めることなどを条件に検査を実施し、基礎データを得た。官能検査状況を写真-3.3に示す。なお検査期間中各試料床の自由振動を適宜測定し、振動性状が一定に保たれていることを確認した。

図-3.2に官能検査の分散分析から得られた分散比、寄与率および尺度値間の有意差範囲（危険率5%）を示す。すべてにおいて検査試料の刺激の差の効果を表す主効果の分散比がほかと比べて非常に大きく高度に有意であり、かつ寄



写真－3.2 振動感覚に関する官能検査に用いた硬底靴



写真－3.3 振動感覚に関する官能検査状況

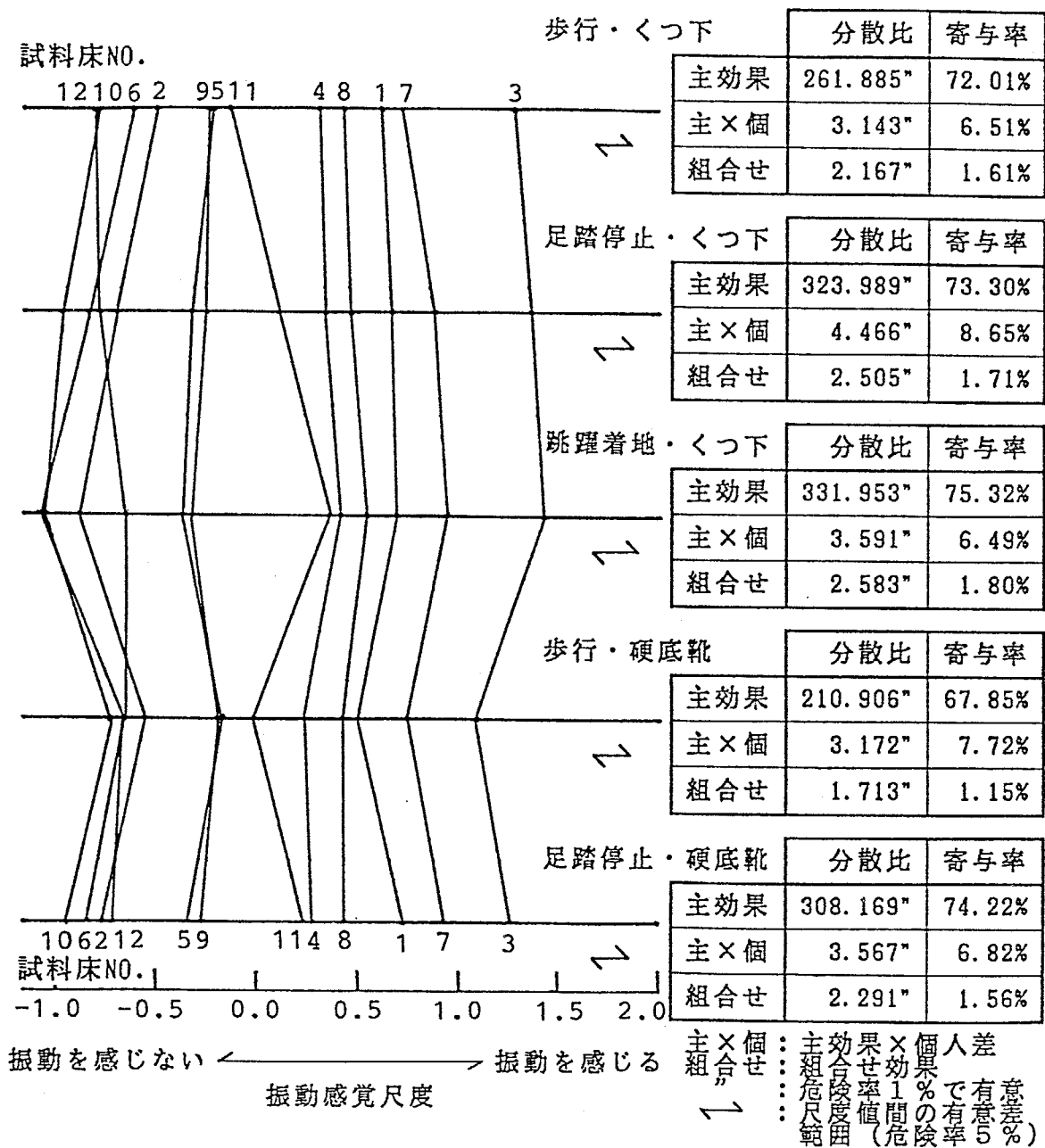


図-3.2 振動感覚尺度線図と分散分析結果

与率も高いことから、各動作時に発生する試料床の振動性状に有意な差があること、ならびに検査員にこれらの差に対する共通の判断基準があることがわかる。一方個人差、組合せ効果も有意となっているが、この種の検査では個人差、組合せ効果が有意になることが通常あり得ること^{1), 19), 42)}、各動作においてその速さ、激しさなどを自由にしたことが個人差、組合せ効果を有意にしたとも考えられること、さらに分散比、寄与率が主効果と比べて非常に小さいことから大きな問題とはならず、構成される尺度は十分意味を持つものとみなせる。ただし尺度の適用にあたっては、個人差、組合せ効果の影響も含めた尺度値間の有意差範囲を常に考慮することが必要と考える。

以上構成される尺度の有意性を確認したうえで、官能検査で求めた基礎データを用い、尺度構成理論^{21), 22)}に従って振動感覚尺度を構成した（尺度の概要は以降に図示することとし、詳細は省略する）。

3.4.3 考察

図-3.2に構成した振動感覚尺度を尺度線上に示し、表-3.2に振動感覚尺度相互の相関係数を示す。なお図-3.2の折れ線は、各試料床の尺度値を数直線上にプロットし試料床ごとに結んだものであり、尺度値が大きいほど振動すると感じられていることを意味する。

これらの図、表から、各試料床の振動の強弱に対する感覚上の相対的序列は、動作による加振力の差異、受振姿勢の差異、履物の差異によらずほとんど同一なことがわかる。この結果から、3.4.1.5で選定した動作、履物と類似した条件下でも、試料床の振動感覚上の相対的序列は大きく変化しないことが推測できる。

またこのことは、3.4.1.5で選定した動作のうち任意の動作時の加振力および受振状況を選択しこれと近似した条件で床を加振したときの床振動を受振でき

表 - 3.2 振動感覚尺度の相関表

	足・硬	歩・硬	跳・く	足・く
歩・く	0.9727"	0.9927"	0.9588"	0.9883"
足・く	0.9953"	0.9968"	0.9898"	歩 : 歩行 足 : 足踏 跳 : 跳躍 く : 下 硬 : 軌 硬 : 意 1% : 危険率
跳・く	0.9940"	0.9796"		
歩・硬	0.9882"			

る測定装置を開発すれば、装置より得られる測定結果から、いずれの動作、履物での振動感覚尺度ともよい対応を示す床振動を表示する物理量が得られる可能性があることを示しており、振動の測定方法の簡易化、統一化が十分可能なことを示している。特に、人体の振動特性は動作中の筋緊張の程度などにより複雑に変化することなどがこれまで報告されているが^{33), 43)}、上述した結果から人間の動作時と近似したひとつの荷重条件下で測定される振動性状でほかの条件下における振動性状を代替しても、人間の振動感覚と対応する物理量を求める観点からは不都合はないことになり、床振動測定装置の汎用性を検討するうえでも重要な知見となる。

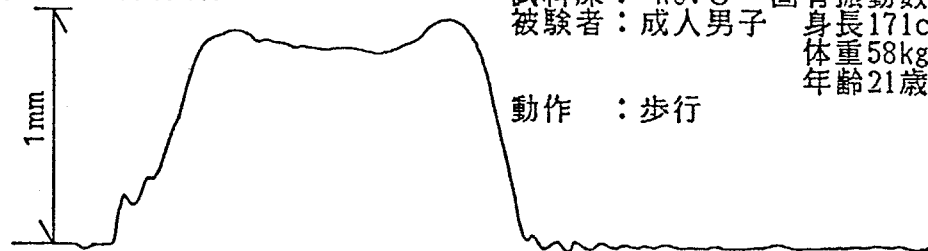
3.5 振動感覚尺度と対応する物理量の設定

3.5.1 床振動測定装置

図-3.3に種々の動作時の試料床の挙動を、パネル下面に取り付けた変位変換器および加速度計で測定した結果の一例を示す。図中の加速度・時間曲線は、試料床の固有振動数に近い成分を抽出したものである。また図-3.4に吉岡、小野らが測定した歩行者が床に与える鉛直荷重の代表例を、人間の足の接地状況とともに示す²⁾。図-3.3の変形・時間曲線と図-3.4に実線で示した荷重・時間曲線から、試料床が人間の動作によって生じる鉛直荷重に相応した変形をしていることがわかる。また図-3.3の加速度・時間曲線から、着地時に試料床の固有振動数に近い振動数での振動が発生していることがわかる。これから、試料床が固有振動数に近い振動数で小さく振動しながら、鉛直荷重に相応して大きく変形していることがわかる。このような傾向はいずれの試料床、動作の場合も同じであり、類似する既往の研究⁴⁴⁾においても同様の結果が得られている。

このうち試料床の固有振動数に近い振動数での振動は、図-3.4に示した歩行

変形・時間曲線



試料床： NO.5 固有振動数21.92Hz
被験者： 成人男子 身長171cm
体重58kg
年齢21歳
動作： 歩行

加速度・時間曲線

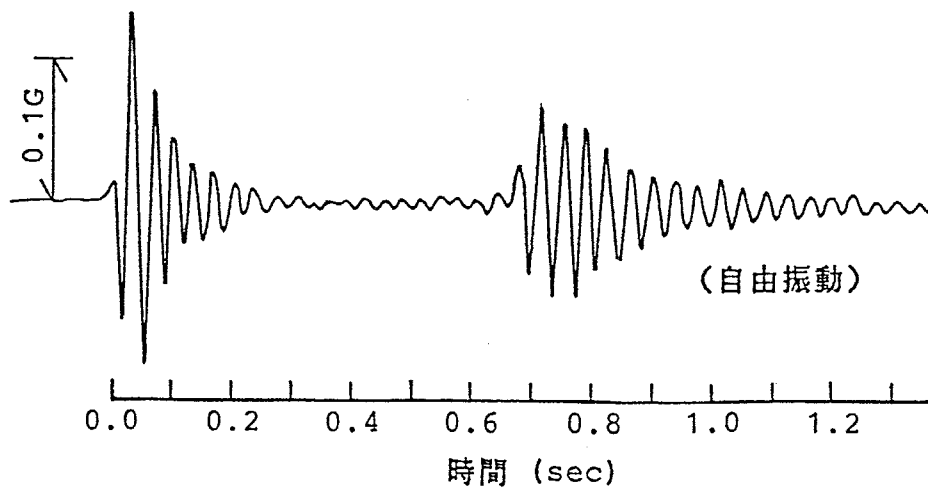


図-3.3 歩行時の試料床の挙動の測定結果の一例

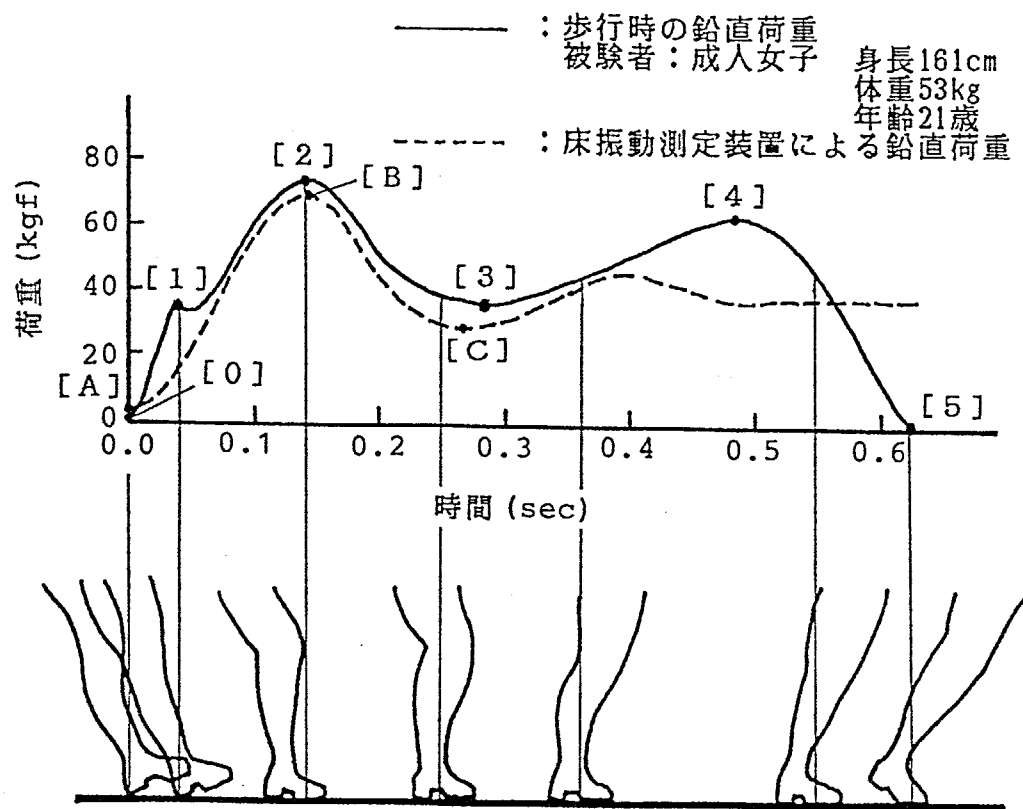


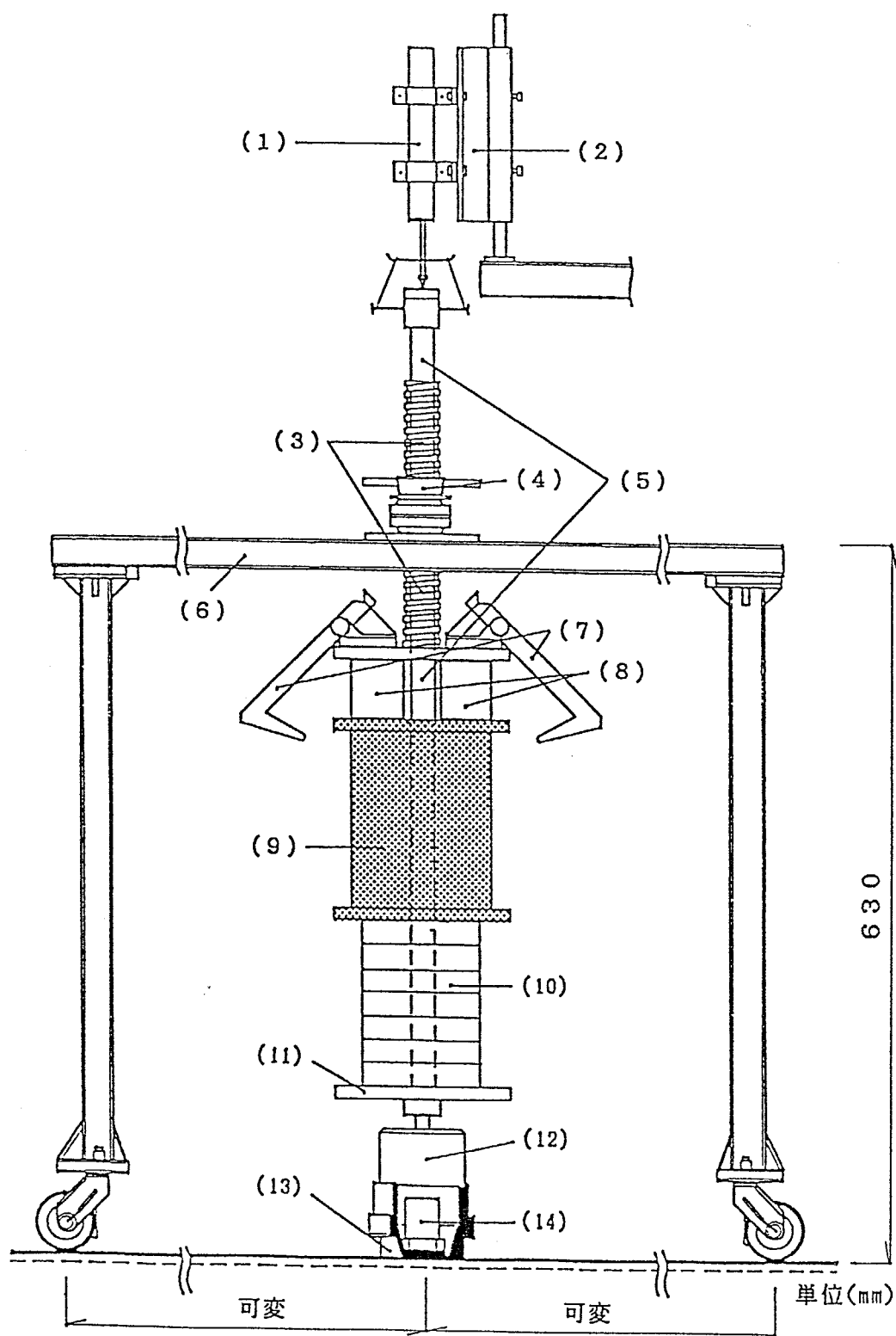
図-3.4 歩行者が床に与える鉛直荷重の時間変化および足の接地状況との関係の代表例と床振動測定装置の鉛直荷重

時の鉛直荷重のうち、着地動作、履物などにより生じたり生じなかったりする小さなピーク〔1〕などの影響を受けやすく、概して振幅の大きさなどのばらつきが大きい。いずれの場合も図-3.3において歩き抜けた後に発生している各試料床の自由振動と比較し、特に減衰が早いことが共通の傾向としてあげられる。またこのような減衰性状の差異はパネル重量の小さい試料床ほど顕著に表れていることから、人体の要因を考慮して床の振動を測定しなければ人間の動作時に発生する床の振動性状を把握できないことがわかる。

つぎに、2.5.1で設計、試作した床のかたさ測定装置の概要を図-3.5、写真-3.4に示す。本装置は重量40kgの落下重錘（9）と減衰性の大きいゴムばね（10）からなる荷重体により、図-3.4に実線で示した歩行時の鉛直荷重の代表例に近似した荷重を与えたときの床の挙動を、荷重変換器（12）、変位変換器（1）、加速度計（14）で測定するものである。

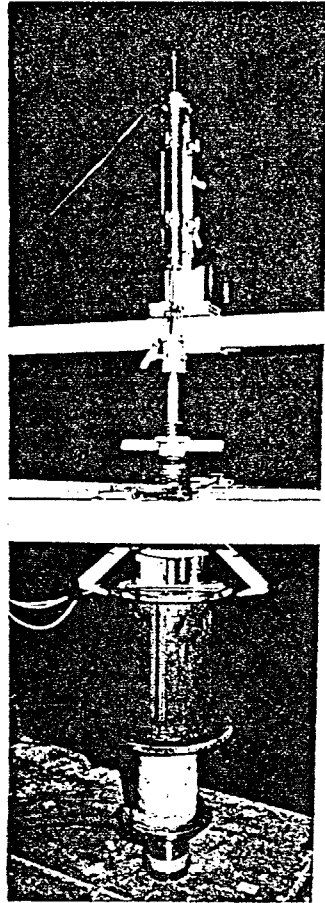
本装置の荷重体が床に与える鉛直荷重を、図-3.4の点線に示す。図中〔A〕～〔C〕の部分の動的な荷重の性状は、歩行時の鉛直荷重のうち床を加振するという観点から主要と思われる〔0〕～〔3〕の部分に近似させている。さらに重量40kgの重錘の落下による動的な荷重の作用後（〔C〕以降）、減衰性の大きいゴムばねにより重錘の重量が床に静的に載荷される形式となっているのは、重錘落下後の床振動を、人体の要因の影響を含めてできるだけ人間の動作時と近似した荷重条件下で測定することを目的としたためである。つまり本装置は、実情に近似した条件下で得られる床の挙動から、かたさと振動を評価する資料を得る目的で開発されたものであり、本章では床振動測定装置として用いることとした（なお装置の名称を床のかたさおよび振動測定装置と改称するが、本章では床振動測定装置と記す）。

ここで床を加振する荷重を歩行時の鉛直荷重としたのは、3.4.3において本章の範囲では、ひとつの代表的荷重による加振で床の振動性状を把握できること



- | | |
|-------------------|------------|
| (1) 変位変換器 | (8) 電磁石 |
| (2) 変位変換器取り付け座 | (9) 重錘 |
| (3) 重錘取り付け座 | (10) ゴムばね |
| (4) 重錘取り付け座上下ハンドル | (11) 受け板 |
| (5) シャフト | (12) 荷重変換器 |
| (6) 重錘取り付け座支持架台 | (13) 荷重板 |
| (7) 重錘誤落下防止用安全装置 | (14) 加速度計 |

図-3.5 床のかたさおよび振動測定装置（前、床のかたさ測定装置）の概要



写真－3.4 床のかたさおよび振動測定装置（前、床のかたさ測定装置）

を考察していることによる。なお本装置の開発経緯，測定方法，ゴムばねの特性などの詳細は、2.5.1で述べているので参照されたい。

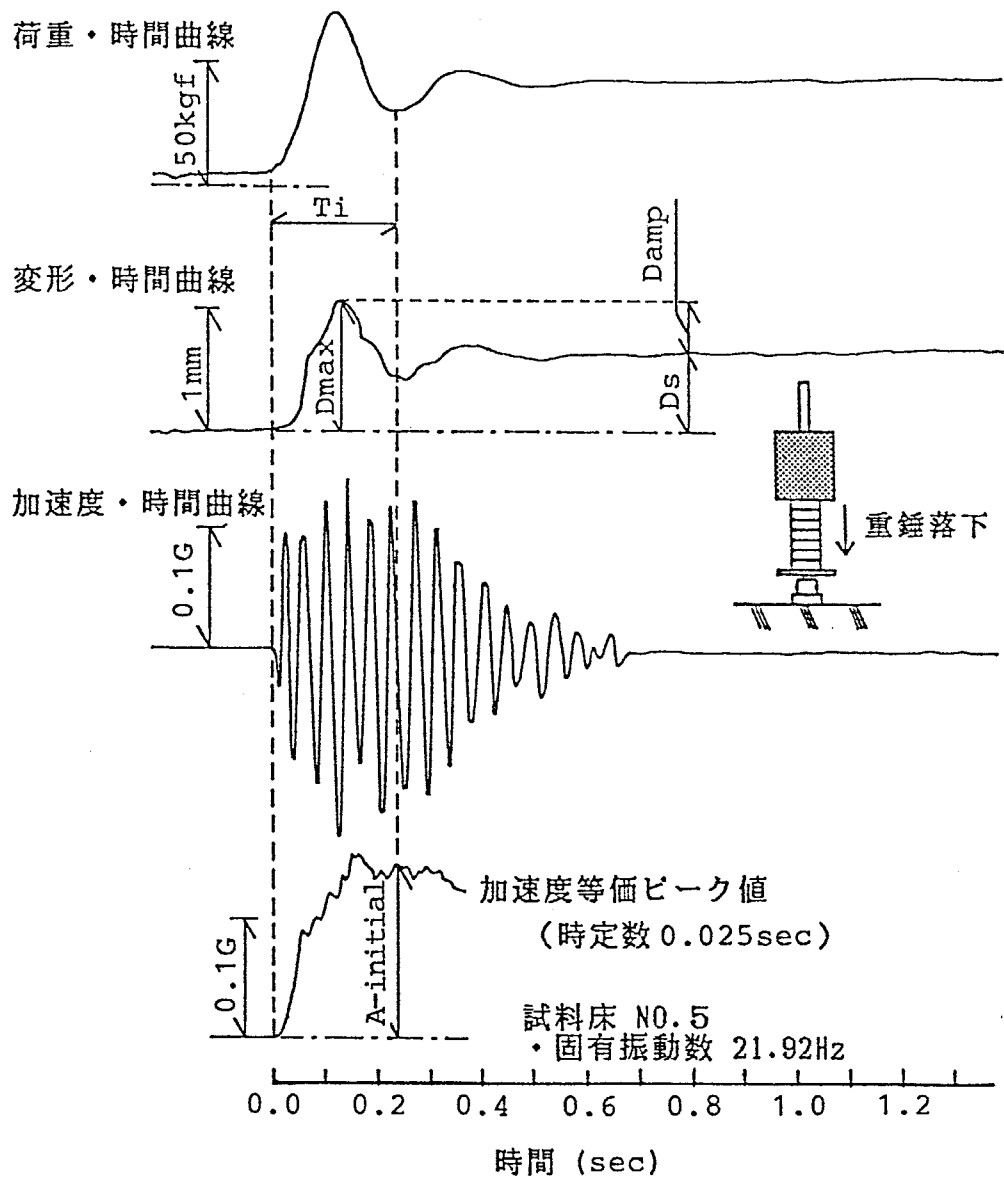
3.5.2 床振動測定装置による試料床の挙動の測定および振動感覚尺度と対応する物理量設定のための基礎的検討

図-3.6(イ)に床振動測定装置で試料床の挙動を測定した結果の一例を示す。ここで加速度・時間曲線は試料床の固有振動数に近い成分を抽出したものである。これから3.5.1で述べた人間の動作による場合と同様、試料床は装置による鉛直荷重に相応した変形と、試料床の固有振動数に近い成分での振動が複合された挙動を示していることがわかる。なおほかの試料床でも同様であることを附記する。

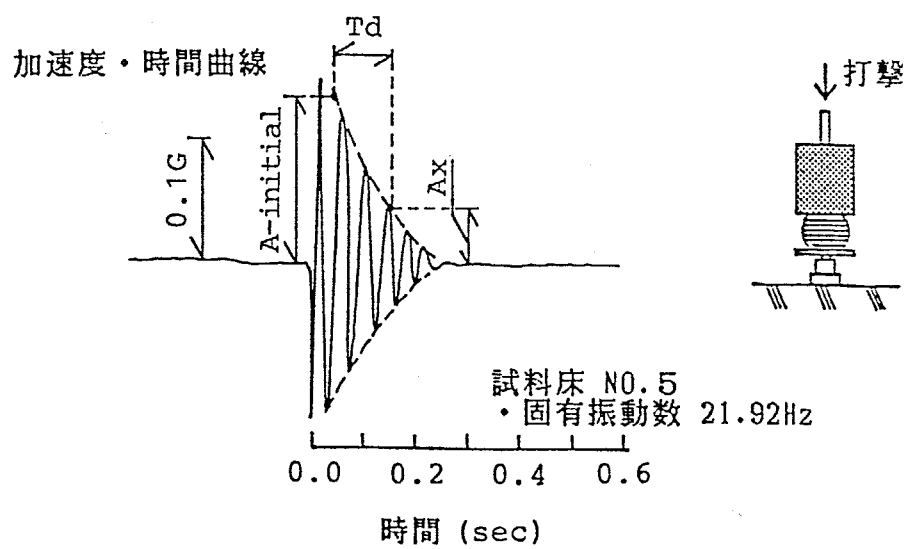
図-3.7は、加速度・時間曲線から求まる各試料床の振動の振動数と、加速度の最大振幅を変位に換算した値との関係を、振動感覚スケールとしてよく用いられるマイスター曲線上に表したものである。なお図中の各点は、該当する試料床の振動感覚尺度（歩行・くつ下）上の尺度値で大雑把に分類したうえで、記号を用いて分類したものである。これから一部の試料床の振動感覚尺度上の順位とマイスター曲線上の順位に、差異がみられることがわかる。

また三輪らは減衰をともなう振動の感覚上の大きさを、感覚上等価となる定常振動の感覚レベル値（VGL）で表示している^{35), 36)}。図-3.8に、三輪らの提示した衝撃立ち上がり振動を定常振動に等価する方法を床振動測定装置で測定した加速度・時間曲線に適用して算出したVGLと、振動感覚尺度との対応の一例を示したが、特に比較的感覚尺度上の尺度値が小さい試料床での対応に乱れが見受けられる。原因として減衰が早くそれほど振動しないと感じられている試料床のVGLが大きめに算出されることが考えられる。

これらのことから、本章における振動感覚には振幅と振動数のみならず減衰



(イ) 重錘落下時の挙動の測定結果の一例



(ロ) 減衰振動の測定結果の一例

図-3.6 床振動測定装置による試料床の挙動の測定結果の一例

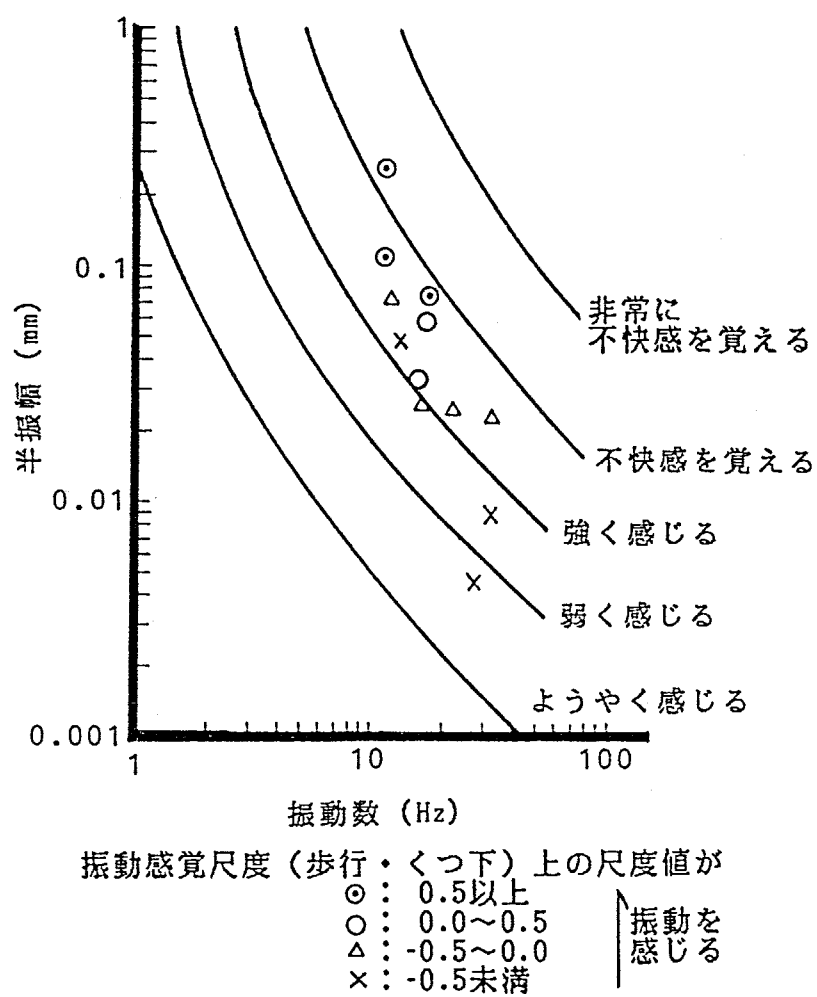


図-3.7 振動数、振幅と振動感覚尺度との関係の一例およびマイスター曲線

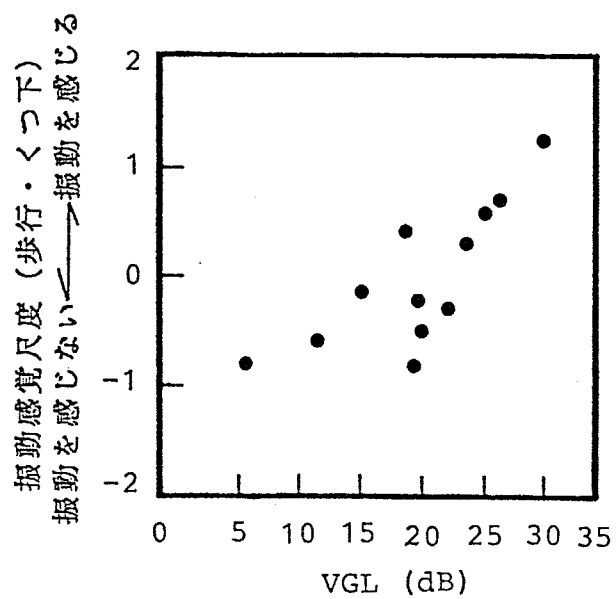


図-3.8 VGLと振動感覚尺度との関係の一例

の要因が大きく影響しており、減衰の要因をより厳密に取り入れなければ本章における振動感覚を十分表示できないことがわかる。

また安藤らは比較的減衰の早い木質系床のみを対象に、歩行時の床の動たわみと静たわみの差を用いて床の振動感覚を表示することを提案している³⁸⁾、³⁹⁾。図-3.9に床振動測定装置で測定した床の最大変形量 (D_{max}) と重錘落下後荷重が安定した時点での変形量 (D_s) との差 (D_{amp}) (図-3.6 (イ) の変形・時間曲線参照) と、振動感覚尺度との関係の一例を示したが、明確な対応はみいだせなかった。

このほかにも、小林らの研究成果⁴⁰⁾、⁴¹⁾をはじめいくつかの研究成果の適用性を検討したが、いずれも満足のいく対応は得られなかった。

一方本章と同様の観点から行われた基礎的研究⁴⁵⁾、⁴⁶⁾の結果、人間の振動感覚には動作時の床の最大変形量および振動の続き具合のふたつの要因が大きく寄与すること、振動の続き具合を表示する物理量として振幅が所定のレベルまで減衰するのに要する時間 (以降、減衰時間と記す) が妥当であることが明らかになっている。また体育館の床を対象とした小野らの研究²⁰⁾でも、振動の減衰感覚を減衰時間で表示できることが報告されている。

以上の知見から、本章では図-3.6 (イ) に示した変形・時間曲線から得られる変形の最大値 (D_{max}) と、加速度・時間曲線から得られる振動の振幅が一定のレベル (A_x) まで減衰するのに要する時間 (T_h) を用いて、振動感覚尺度と対応する物理量の設定を試みることにした。基礎資料を求めるため種々検討した結果、特に剛性の低い試料床で落下後の重錘がゴムばね上で弾み、重錘の落下により発生した振動の減衰時間 (T_h) を正確に把握できないことが判明した。そこで本章では、あらかじめ重錘をゴムばねの上に置いた状態で、床振動測定装置のシャフト頂部を打撃することにより発生する床の振動の減衰性状を把握し、以下に述べる方法で減衰時間 (T_h) を算出することとした。

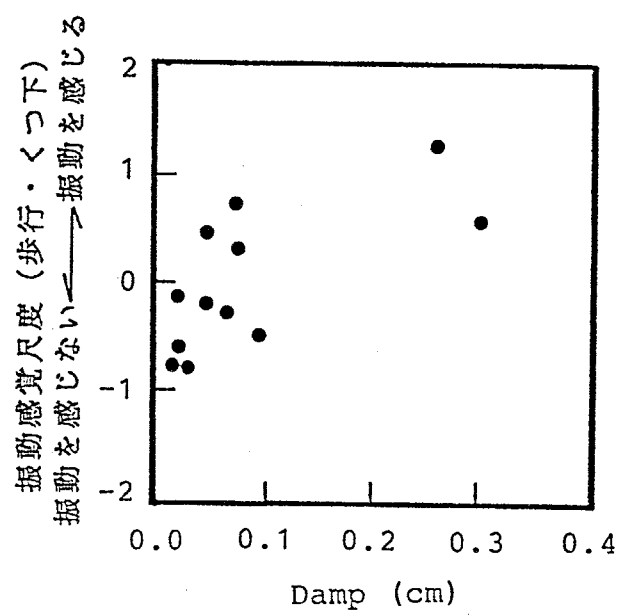


図 - 3.9 Damp と振動感覚尺度との関係の一例

- 1) 重錘の落下により生じる動的な荷重が最大に達した後、荷重が最小になる時点（この時点までの荷重は再現性がある）での振動の加速度等価ピーク値（時定数0.025sec）をA-initialとして求める。さらに荷重の立ち上がり時点から荷重が最小になる時点までの時間を T_i として求める（図-3.6（イ）参照）。
- 2) 上述の条件（シャフト頂部を打撃）で測定した減衰振動波形より、振幅が1)で求めたA-initialから一定のレベル（ A_x ）まで減衰するのに要する時間を T_d として求める（図-3.6（ロ）参照）。
- 3) $T_i + T_d$ を減衰時間（ T_h ）として算出する。

すなわち床振動測定装置による重錘落下後、荷重が最小になるまでの床振動に、シャフト頂部を打撃して求めた減衰振動をつなぎ合わせるにより、減衰時間（ T_h ）を求める方法となる。

3.5.3 振動感覚尺度と対応する物理量の設定

3.5.2で求めた減衰時間（ T_h ）と、最大変形量（ D_{max} ）を用いて、以下のよう振動感覚尺度と対応する物理量を検討した。

まず、基礎的研究^{45), 46)}の結果から、各種動作時の床の最大変形に対する人間の感覚は $\log D_{max}$ と、また振動の続き具合に対する感覚は $\log T_h$ とそれぞれよい対応を示す可能性が高いと考えられることから、両者を加え合わせた物理量を基本形とすることとした。

つぎに A_x の値を20dB（VGL），5dB（VGL）（VGL：Vibration Greatness Level，三輪らが提示した振動感覚レベル値³⁵⁾）とした場合の減衰時間（ T_h ）を算出した。ここで20dB（VGL）は基礎的研究^{45), 46)}を参考に、また5dB（VGL）は本章で対象とする振動数の範囲では閾値に該当する値³⁵⁾として選定したものである。さらに A_x の値を20dB（VAL），5dB（VAL）（VAL：Vibration Acceleration Level，振動加速度レベル値³⁵⁾）とした場合の減衰時間（ T_h ）

も算出した。これらの結果、 A_x の値を20dB (VGL) とした場合と20dB (VAL) とした場合、および5dB (VGL) とした場合と5dB (VAL) とした場合では、本章で対象とする振動数の範囲ではともに算出される減衰時間 (T_h) の序列に大きな変化はないことがわかった。また A_x の値を20dB (VGL) または20dB (VAL) とした場合、官能検査時に弱い振動が長続きするように感じられた試料床の減衰時間 (T_h) が、動作直後には強い振動が感じられるもののそれほど振動が長続きしないように感じられた試料床の減衰時間 (T_h) よりも短く算出されるため、人間の感覚と対応する物理量を求めるためには、 A_x の値をより小さくする必要があることがわかった。よって本章では解析の簡易化なども考慮し、 A_x の値を5dB (VAL) とすることとしたが、算出される減衰時間 (T_h) には、間接的ではあるが振動数の要因が関与していることを附記したい。

上述の検討から、

$$y = A \cdot \log (D_{\max} / D_{\text{ref}}) + \log (T_h / T_{\text{ref}})$$

A : 定数

$$D_{\text{ref}} = 1 \text{ (cm)}$$

$$T_{\text{ref}} = 1 \text{ (sec)}$$

なるモデルを設定し、 A の値を変化させながら各試料床の y を算出し、振動感覚尺度との対応図を描きながら目視で両者の対応を検討したところ、 $A = 0.3$ のときにいずれの動作、履物での尺度とも最もよい対応が得られた。

以上の検討から、振動感覚尺度と対応する物理量として動作、履物のいかににかかわらず、以下の式で与えられる $V I (1)$ (Vibration Index (1)) を設定した。

$$V I (1) = 0.3 \cdot \log (D_{\max} / D_{\text{ref}}) + \log (T_h / T_{\text{ref}})$$

$$D_{\text{ref}} = 1 \text{ (cm)}$$

$$T_{\text{ref}} = 1 \text{ (sec)}$$

なお参考として、 D_{max} 、 T_h と $V I(1)$ との関係を図-3.10に示すとともに、各試料床の D_{max} 、 T_h 、 $V I(1)$ の値を表-3.3に一覧にした。

図-3.11に3.4.2で構成した振動感覚尺度と $V I(1)$ との関係を示す。いずれも図中点線で示したごとく両者はなめらかに対応しており、種々の動作、履物により発生する床振動の動作本人からみた感覚上の序列を、 $V I(1)$ を用いて十分な精度で表示できることが明らかになったといえる。さらに3.4.3で述べた考察から、ほかの日常的な動作、履物での振動感覚を表示する物理量としても、 $V I(1)$ を適用できるものと想定できる。

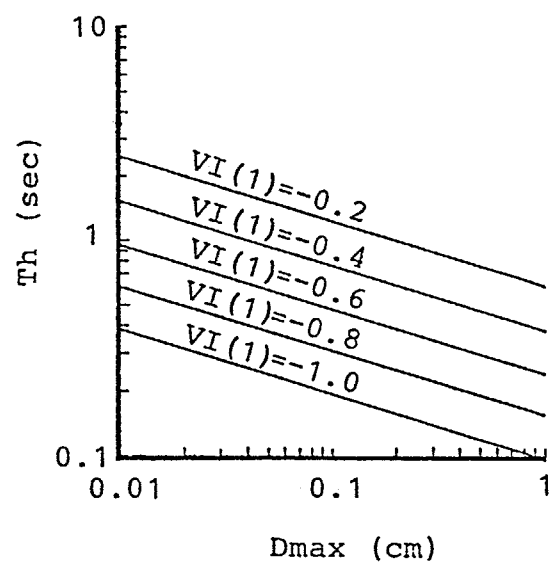
また足踏停止動作の場合に $V I(1)$ を適用できることから、振動発生者と受振者が異なる場合にも、床振動の感覚上の大きさを実情に即した条件下で測定される床の変形量および床振動の減衰時間から得られる物理量で表示できる可能性が高いと考えられるが、この点に関しては第4章で詳細に検討する。

なお、ちなみに各試料床の自由減衰振動、重錘(40kg)を試料床上に置いたときの減衰振動、重錘(5kg)をゴムばねを介して試料床上に置いたときの減衰振動を測定し、振幅の半減時間を算出して3.5.2の測定結果と比較した結果を示したのが図-3.12である。いずれの図においても両者の相関は低いことから、本章で対象とする床の場合には、人体の重量および減衰特性などの諸条件を考慮して床振動を測定しなければならないことが、確認できたといえる。

3.6 床振動の評価に関する官能検査および振動評価尺度の構成

3.6.1 官能検査の概要

床振動の評価に関する官能検査の検査手法、試料床、検査員、動作、履物などを、構成する尺度とともに表-3.4に一覧にした。以下におもな事項について説明を加える。



$$VI(1) = 0.3 \log(D_{\max}/D_{\text{ref}}) + \log(T_h/T_{\text{ref}})$$

$$D_{\text{ref}} = 1 \text{ (cm)}$$

$$T_{\text{ref}} = 1 \text{ (sec)}$$

図 - 3.10 $D_{\max}$, T_h と $VI(1)$ との関係

表－3.3 振動感覚に関する官能検査の試料床の物理量測定結果

試料床 NO	D max (cm)	T h (sec)	V I (1)
1	0.6474	0.5037	-0.355
2	0.2279	0.4170	-0.573
3	0.5539	0.6675	-0.253
4	0.1801	0.6409	-0.418
5	0.1154	0.5284	-0.559
6	0.0651	0.4352	-0.717
7	0.1691	0.8913	-0.282
8	0.1069	0.7367	-0.425
9	0.1579	0.5220	-0.523
10	0.0458	0.3775	-0.823
11	0.0792	0.7704	-0.444
12	0.1154	0.4558	-0.623

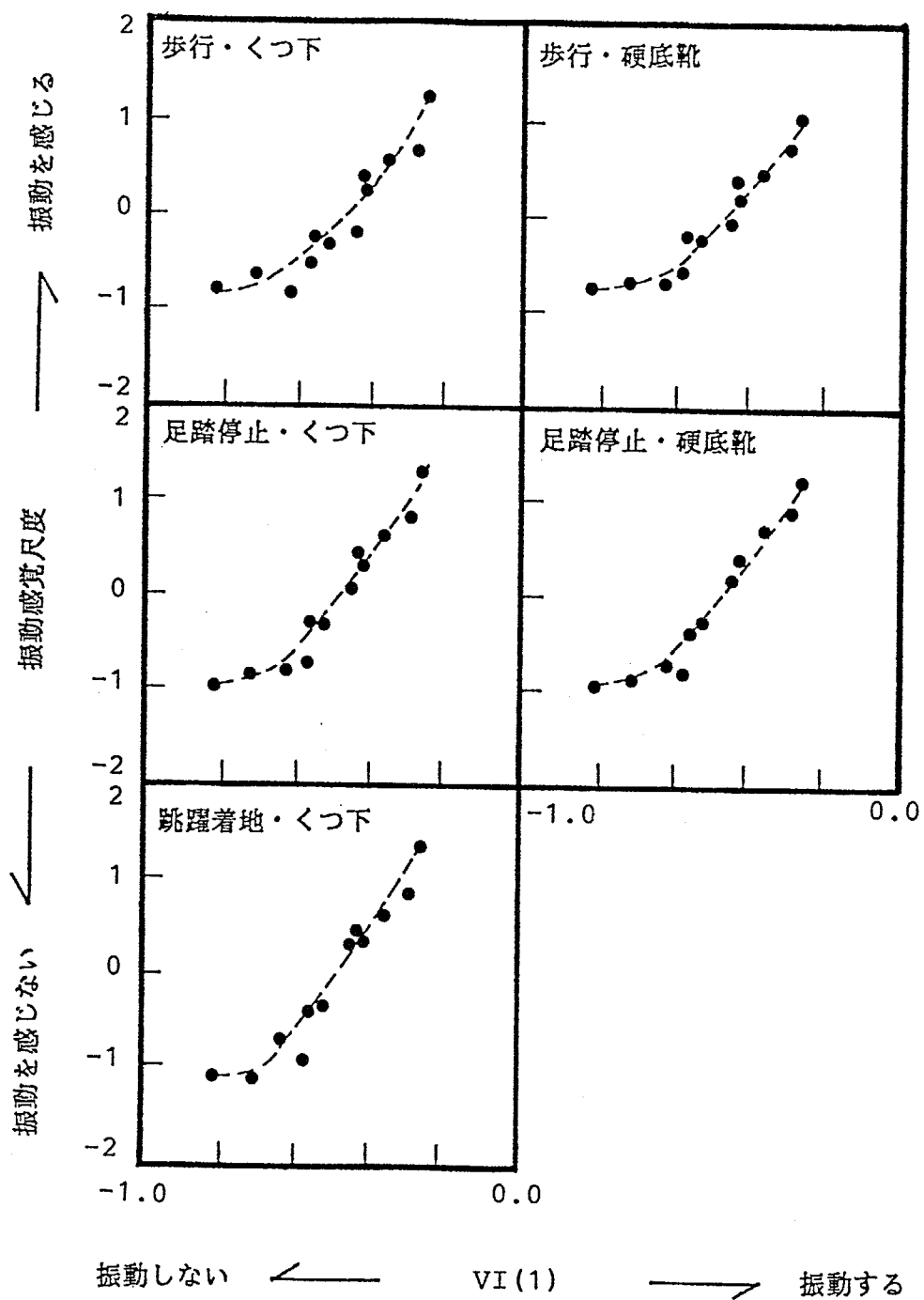


図-3.11 VI(1)と振動感覚尺度との関係

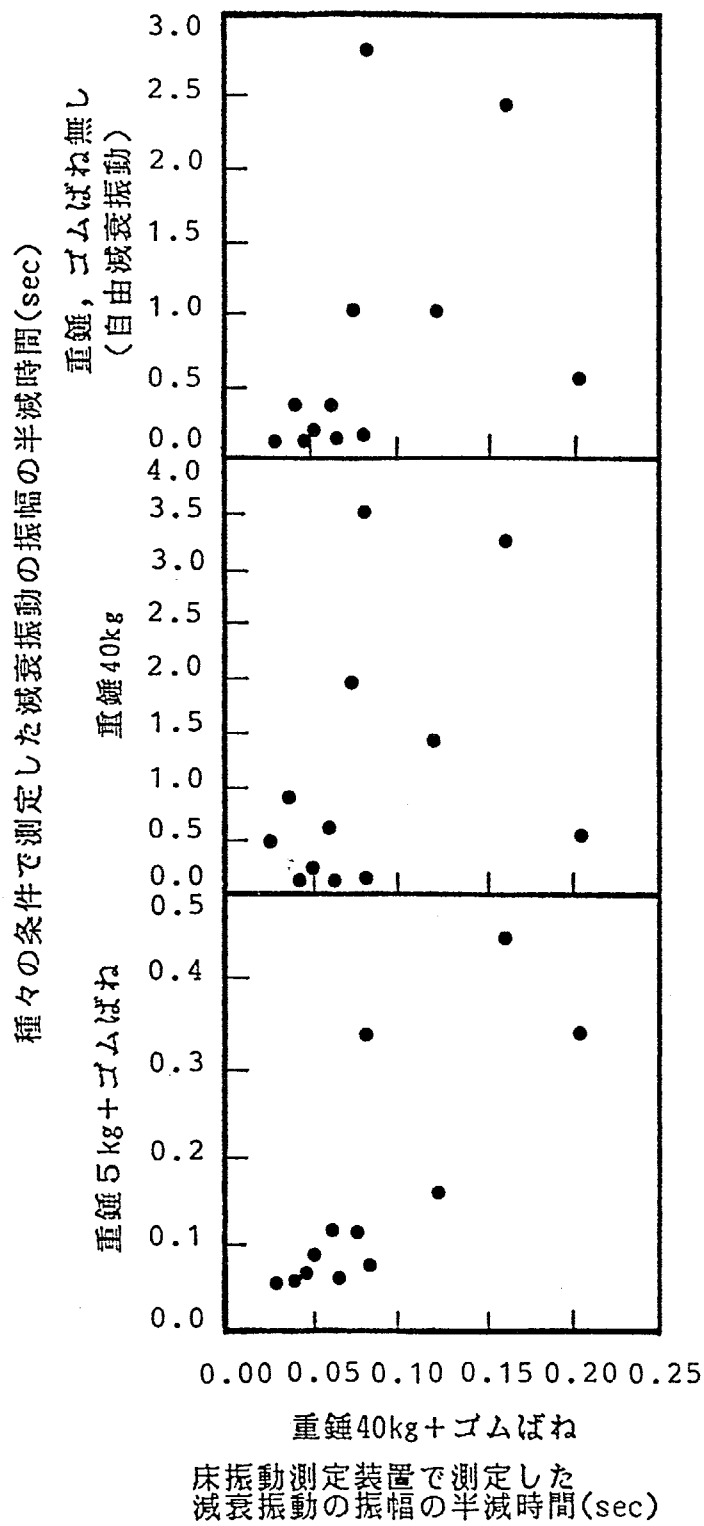


図-3.12 振幅の半減時間の関係

3.6.1.1 構成する尺度

構成する尺度は、表－3.4に示す3種類の振動評価尺度とした。すなわち尺度Kは床振動が（ ）内に提示する用途（住居の居室，住居の廊下，事務所・学校・病院等など）の床を想定した場合どの程度気になるかを、尺度Sは同様に日常生活，仕事等などにどの程度さしさわられるかを、また尺度Fはどの程度不安感を感じるかを、それぞれ表すものである。

3.6.1.2 検査手法の選定

本章で求める評価尺度は絶対判断から求めることが望ましいため、検査手法として基礎的研究⁴⁵⁾で適用の妥当性が実証されている、7範ちゅう（表－3.4に示す）を用いて各試料床の振動を絶対判断する系列範ちゅう法^{21), 22)}を選定した。

3.6.1.3 試料床の設定

検査に用いる試料の設定にあたって、以下の点に留意した。

- ・実在する床の振動性状のうち、居住性の観点から問題となると思われる範囲を十分包含する試料群とする。
- ・検査員に疲労，倦怠を感じさせない試料数とする。
- ・所定の動作を行うのに十分な大きさとする。
- ・検査期間中、振動性状が変化しない試料とする。

以上の条件に合致する試料として、3.4で用いた12体の試料床に、同様の形式の試料床を6体加えた、計18体の試料床を設定した。図－3.13に試料床の概要およびパネル重量とコイルスプリングの剛性などの組合せを示す。このうちN0.16, 17の試料床は、2.4で述べた床のかたさに関する官能検査においてかたさの判断に振動の要因が影響したN0.2, 1の試料床（2.4.1.3参照）と同一で

	NO	W	k	f
450mm × 450mm の 試料床	1	10	32.6	17.40
	2	10	260.0	36.36
	3	37	32.6	9.34
	4	37	120.8	16.15
	5	37	260.0	21.92
	6	37	833.3	29.85
	7	100	120.8	10.75
	8	100	260.0	13.85
	9	100	(32.6)	11.70
	10	100	(333.3)	23.21
	11	300	833.3	15.40
	12	300	(120.8)	13.23
	13	10	120.8	25.97
	14	10	833.3	40.58
	15	300	260.0	9.22
910mm × 910mm の 試料床	16	80	32.6	10.00
	17	80	120.8	20.00
	18	260	32.6	6.60

NO : 試料床ナンバー
 W : パネル重量 (kg)
 k : 使用したコイルスプリング
 の剛性 (kgf/cm)
 (k) : ウレタンでラップした
 コイルスプリングを使用
 f : 模擬床の固有振動数 (Hz)

重量可変パネル

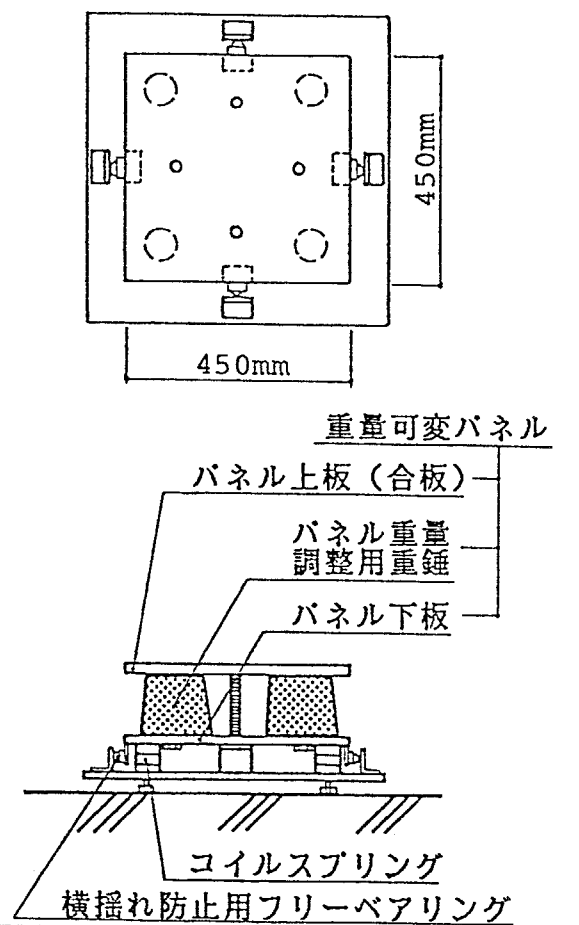
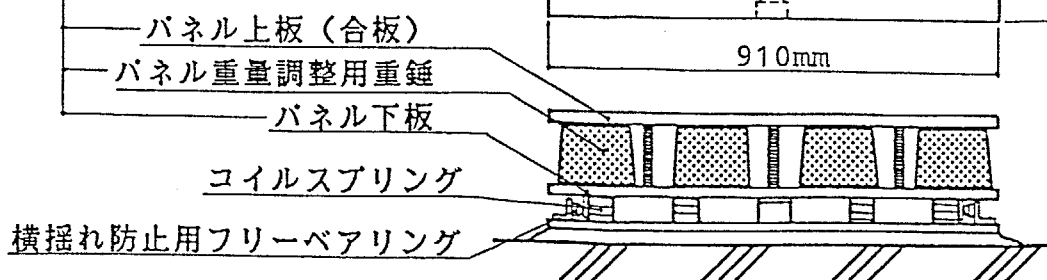


図 - 3.13 振動評価に関する官能検査の試料床の概要

ある。

なお表－3.5に、3.5.1に示した床振動測定装置を用いて測定した、各試料床の D_{max} 、 T_h 、 $V_I(1)$ の値を一覧にした。

3.6.1.4 検査員の選定

検査員として、年齢などができるだけ広範囲に分布することを条件に、成人男子15名（21～41歳）および成人女子10名（21～42歳）計25名を選定した。なお検査員の層としては老人、子供なども選定することが望ましいが、現実的にはこれらの層を対象とした検査が困難なことから、検査員の層としては除外した。

3.6.1.5 動作、履物の選定

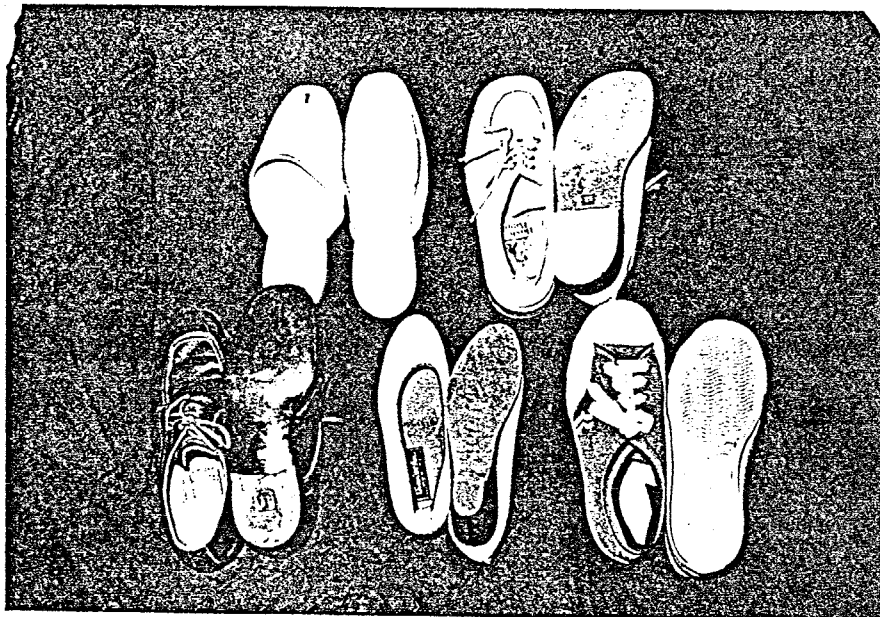
動作として、歩行、足踏停止、跳躍着地の3つを選定した。動作の形態および各々の動作で判断の対象とする振動は、3.4.1.5で述べたのと同じである。選定した3つの動作は、日常生活において床を加振しかつ受振する動作として、一般的かつ代表的とみなせるものである。なお動作の規制による判断の乱れをなくすため、動作の回数、速さ、激しさなどは各検査員ごとに自由とした。

また履物として、住居の居室において一般的な薄手のくつ下、住居の廊下においてよく用いられるスリッパ、事務所・学校・病院等で一般的に用いられる軟底紳士靴、硬底紳士靴、中ヒールの5種類に、参考のために体育館において一般的に用いられる運動靴を加えた計6種類を選定した。ここで薄手のくつ下は、3.4.1.5で述べたと同様の目的で採用したものである。写真－3.5に選定したスリッパ、軟底紳士靴、硬底紳士靴、中ヒール、運動靴を示す。

なお本検査で選定しなかった動作、履物および履物と床用途の組合せでの床振動の評価については、本検査結果に基づいて検討を加えることとした。

表－3.5 振動評価に関する官能検査の試料床の物理量測定結果

試料床 NO	D max (cm)	T h (sec)	V I (1)
1	0.6474	0.5037	-0.355
2	0.2279	0.4170	-0.573
3	0.5539	0.6675	-0.253
4	0.1801	0.6409	-0.418
5	0.1154	0.5284	-0.559
6	0.0651	0.4352	-0.717
7	0.1691	0.8913	-0.282
8	0.1069	0.7367	-0.425
9	0.1579	0.5220	-0.523
10	0.0458	0.3775	-0.823
11	0.0792	0.7704	-0.444
12	0.1154	0.4558	-0.623
13	0.2915	0.4167	-0.539
14	0.1797	0.3927	-0.631
15	0.2007	0.8269	-0.293
16	0.3175	0.7601	-0.269
17	0.1061	0.6397	-0.486
18	0.3697	2.4360	0.258



写真－3.5 振動評価に関する官能検査に用いたスリッパ, 軟底紳士靴, 硬底紳士靴, 中ヒール, 運動靴

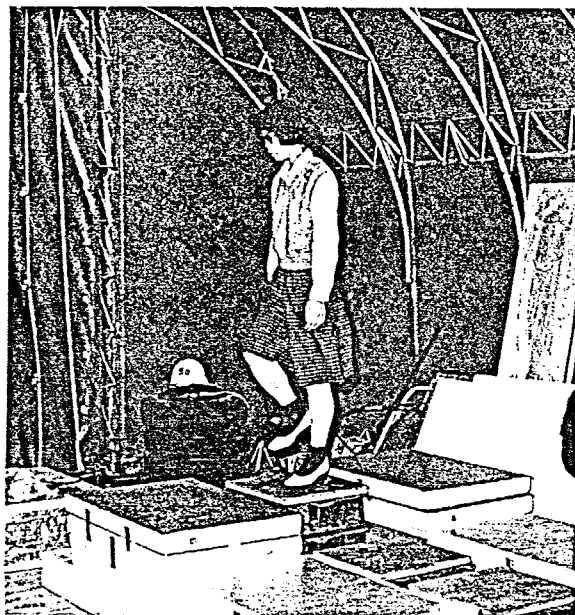
3.6.2 官能検査経過、結果および振動評価尺度の構成

3.6.1に述べた条件のほかに、試料床の鉛直方向の振動以外の要因は判断にいけないこと、疲れたら自由に休めることなどを条件に検査を実施し、基礎データを得た。官能検査状況を写真-3.6に示す。なお検査期間中各試料床の自由振動を適宜測定し、振動性状が一定に保たれていることを確認した。

図-3.14に官能検査の分散分析結果を示す。すべてにおいて主効果の分散比が高度に有意でかつ寄与率も大きいことから、設定した試料床群が床振動の評価の観点からみて十分差異のある刺激を検査員に与えていたこと、検査自体が有効であることがわかる。また個人差がいずれも有意となっているが、この種の刺激に対する検査員の絶対判断に基づく検査では通常あり得ること⁴⁵⁾、個人差の分散比、寄与率ともに主効果のそれと比較して非常に小さいことから、個人差を内包しながらも試料床の振動の差異が構成される尺度に明瞭に出るといえる。なお検査員を男女および年齢の観点で広範囲から選定したにもかかわらず、個人差が成人男子のみを対象とした基礎的研究⁴⁵⁾と比較して大きくならなかったことから、3.6.1.4で選定した検査員の範囲内では、振動の評価判断における男女および年齢による差は非常に小さいといえることができる。なお関連する既往の研究⁴⁷⁾でも、振動の評価に年齢、性の要因は影響しないことが述べられていることを附記する。

以上から構成される尺度は床振動の評価を表す代表値として十分意味を持つものとみなすことができるが、前提としていずれも個人差を内包していることを認識したうえで、論議を進める必要があるといえる。

以上、構成される尺度の有意性を確認したうえで、官能検査で求めた基礎データを用い尺度構成理論^{21), 22)}に従って振動評価尺度を構成した(尺度の概要は以降に図示することとし、詳細は省略する)。なお男女に共通するくつ下、スリッパ、運動靴の3種類の履物の場合に関しては、参考のため男女別の尺度



写真－3.6 振動評価に関する官能検査状況

試料床NO.

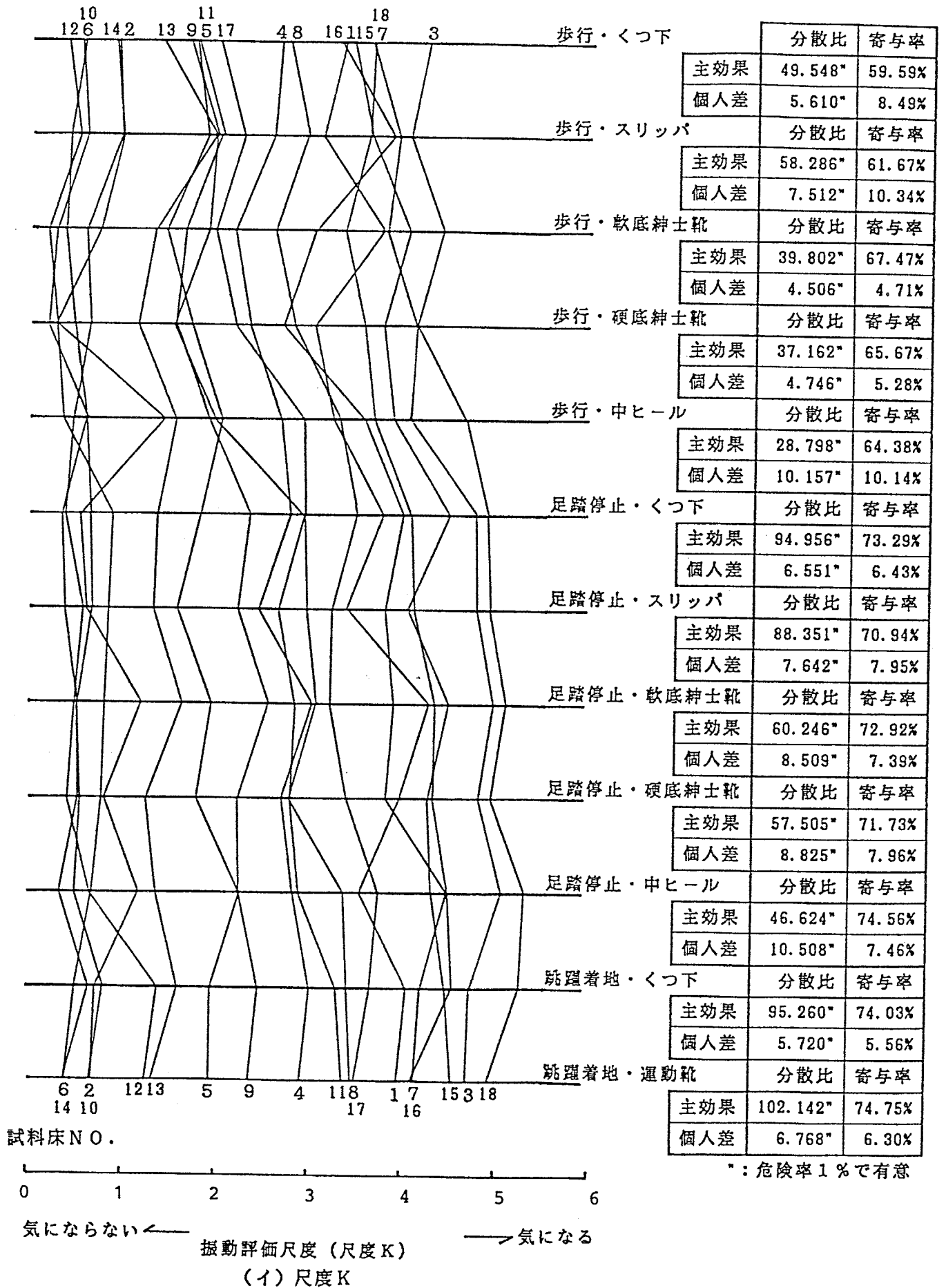


図 - 3.14 振動評価尺度線図と分散分析結果

試料床NO.

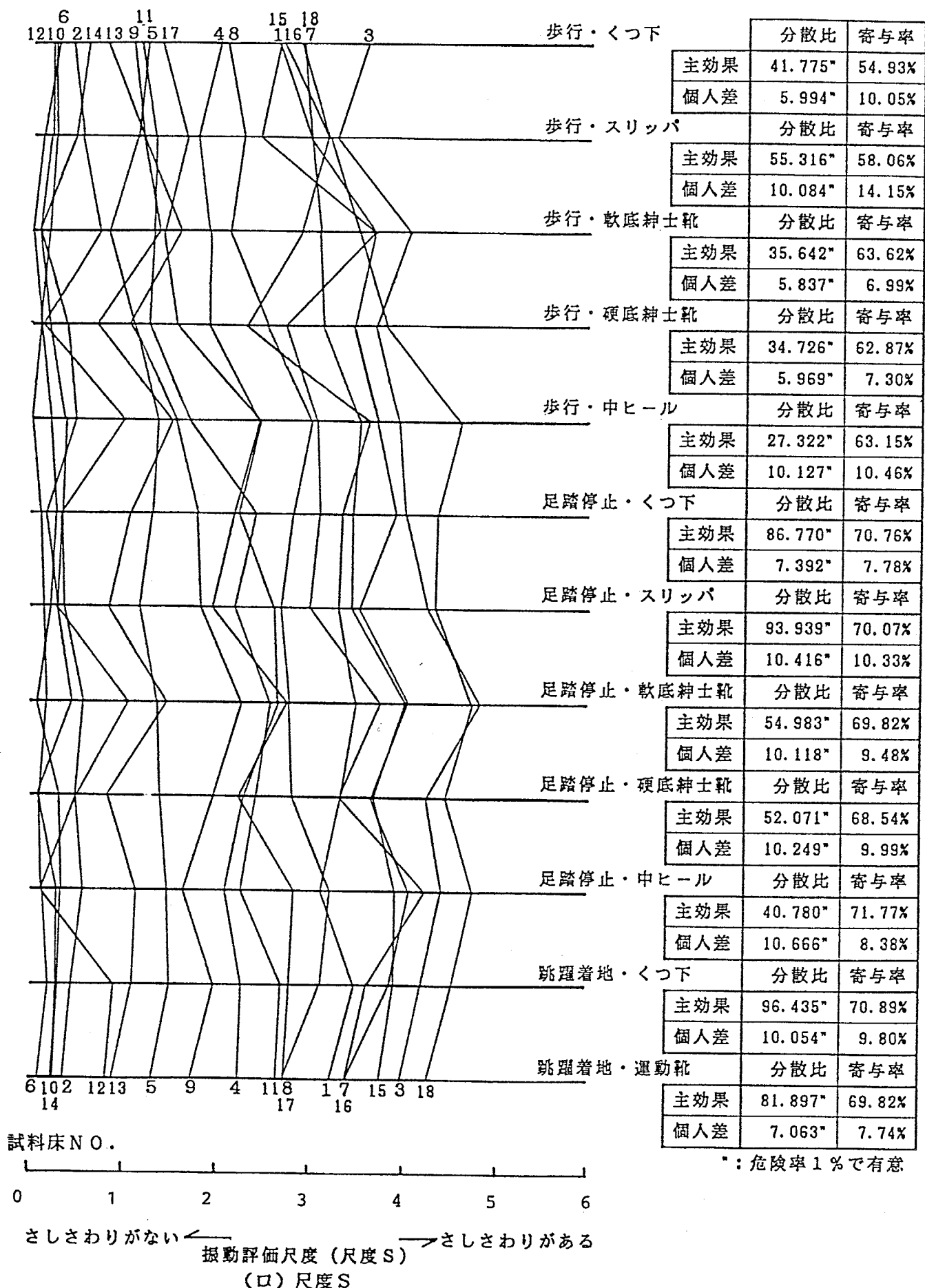
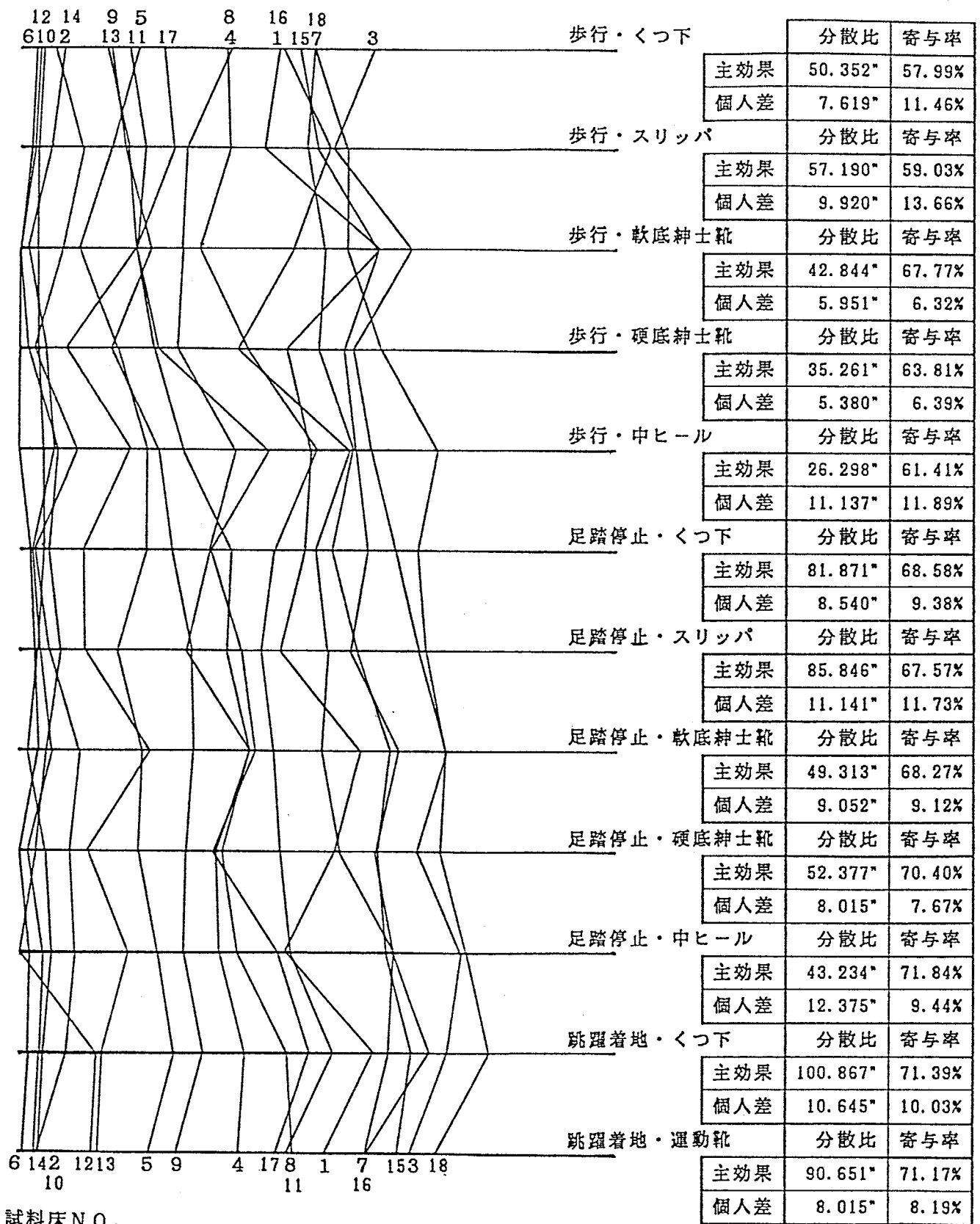
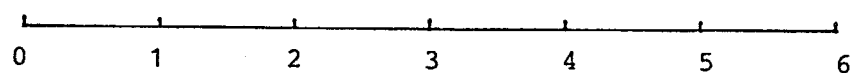


図-3.14 振動評価尺度線図と分散分析結果

試料床NO.



*: 危険率1%で有意



不安感を感じない ← 振動評価尺度 (尺度F) → 不安感を感じる

(ハ) 尺度F

図-3.14 振動評価尺度線図と分散分析結果

も構成したが、結果に有意な差はみられず、床振動の評価に性の要因は大きく影響しないことが判明した（男女別の尺度の構成結果は省略する）。

3.6.3 考察

図－3.14に構成した振動評価尺度を尺度線上に示す。図中の折れ線は、各試料床ごとの尺度値を結んだものである。また表－3.6に振動評価尺度相互の相関係数を示す。

図－3.14，表－3.6から以下のことが考察できる。

- ・各尺度上における試料床の尺度値の相対的序列に大きな差はなく、尺度の種類，動作，履物および履物と床用途の組合せのちがいによる有意な序列の変化はみられない。さらに3.6.1.5で選定した動作，履物は、加振力の大きさ，受振時の姿勢，履物の観点から代表的とみなせることから、類似した他の動作，履物および履物と床用途の組合せでも、床振動に対する評価の序列は本検査結果と大きく異ならないものと推察できる。

- ・尺度Kの尺度の広がりや尺度S，尺度Fよりも大きい。つまり床振動の気になり具合に関する判断が、さしさわりの具合、不安感の感じ具合に関する判断より明確に行われている。これから尺度の意味づけが明確になればなるほど、判断が困難になることが推察できる。

- ・尺度K，尺度S，尺度Fのいずれでも、足踏停止，跳躍着地の場合、歩行よりも尺度の広がりが大きい。これは動作の形態上、受振時に静止状態になる足踏停止，跳躍着地の場合、常に動いている歩行よりも床振動の差を感じやすかったことに、起因すると考えられる。

なお2.4で述べた床のかたさに関する官能検査において、大部分の条件でかたさの判断に振動の要因が影響した試料床N0.16、および一部の条件で影響した試料床N0.17の振動に対する評価は、おおむね範ちゅう⑤および範ちゅう③程度で

表 - 3.6 振動評価尺度の相関表

尺度Kと尺度S, 尺度Kと尺度F, 尺度Sと尺度Fの相関

動作	歩行					足踏停止					跳躍着地	
履物	くつ下	スリ	軟底靴	硬底靴	中ヒ	くつ下	スリ	軟底靴	硬底靴	中ヒ	くつ下	運動靴
KとS	0.997"	0.994"	0.991"	0.994"	0.990"	0.998"	0.999"	0.997"	0.999"	0.994"	0.998"	0.998"
KとF	0.996"	0.987"	0.986"	0.987"	0.987"	0.997"	0.998"	0.996"	0.997"	0.993"	0.997"	0.997"
SとF	0.998"	0.997"	0.997"	0.997"	0.995"	0.998"	0.998"	0.997"	0.997"	0.996"	0.999"	0.998"

KとS：尺度Kと尺度Sの相関 KとF：尺度Kと尺度Fの相関 SとF：尺度Sと尺度Fの相関

尺度K相互の相関

動作		歩行					足踏停止					跳躍着地	
	履物	くつ下	スリ	軟底靴	硬底靴	中ヒ	くつ下	スリ	軟底靴	硬底靴	中ヒ	くつ下	
跳躍着地	運動靴	0.940"	0.949"	0.941"	0.952"	0.956"	0.995"	0.986"	0.982"	0.988"	0.980"	0.996"	
	くつ下	0.948"	0.955"	0.944"	0.961"	0.961"	0.995"	0.992"	0.985"	0.992"	0.982"		
足踏停止	中ヒ	0.964"	0.975"	0.949"	0.968"	0.985"	0.986"	0.989"	0.982"	0.987"			
	硬底靴	0.973"	0.969"	0.972"	0.978"	0.974"	0.996"	0.991"	0.995"		尺度S相互の相関		
	軟底靴	0.974"	0.971"	0.978"	0.974"	0.977"	0.990"	0.987"			0.979"	スリ	
	スリ	0.962"	0.968"	0.959"	0.974"	0.970"	0.995"			0.962"	0.963"	軟底靴	
	くつ下	0.963"	0.969"	0.963"	0.972"	0.969"			0.959"	0.968"	0.974"	硬底靴	
歩行	中ヒ	0.965"	0.973"	0.957"	0.972"		0.970"	0.952"	0.986"	0.959"	中ヒ		
	硬底靴	0.980"	0.968"	0.977"		0.977"	0.977"	0.955"	0.974"	0.958"	くつ下		
	軟底靴	0.984"	0.967"			0.992"	0.975"	0.971"	0.944"	0.969"	0.957"	スリ	
	スリ	0.983"			0.986"	0.986"	0.975"	0.969"	0.968"	0.967"	0.963"	軟底靴	
			0.990"	0.994"	0.996"	0.974"	0.975"	0.955"	0.969"	0.962"	硬底靴		
		0.984"	0.972"	0.990"	0.987"	0.985"	0.964"	0.937"	0.986"	0.959"	中ヒ		
	0.984"	0.994"	0.983"	0.993"	0.994"	0.971"	0.966"	0.939"	0.964"	0.947"	くつ下	跳躍着地	
	0.996"	0.976"	0.990"	0.981"	0.989"	0.991"	0.964"	0.959"	0.931"	0.954"	0.940"	運動靴	
	くつ下	中ヒ	硬底靴	軟底靴	スリ	くつ下	中ヒ	硬底靴	軟底靴	スリ	くつ下	履物	
跳躍着地	足踏停止					歩行					動作		

尺度S相互の相関

尺度F相互の相関

動作	歩行					足踏停止					跳躍着地	
履物	くつ下	スリ	軟底靴	硬底靴	中ヒ	くつ下	スリ	軟底靴	硬底靴	中ヒ	くつ下	
跳躍着地	運動靴	0.942"	0.957"	0.919"	0.961"	0.973"	0.991"	0.987"	0.980"	0.982"	0.976"	0.994"
	くつ下	0.949"	0.963"	0.924"	0.970"	0.983"	0.991"	0.991"	0.983"	0.989"	0.980"	
足踏停止	中ヒ	0.958"	0.979"	0.927"	0.963"	0.983"	0.983"	0.990"	0.980"	0.986"		
	硬底靴	0.969"	0.980"	0.958"	0.985"	0.981"	0.995"	0.991"	0.990"			
	軟底靴	0.969"	0.974"	0.963"	0.980"	0.976"	0.987"	0.984"				
	スリ	0.952"	0.968"	0.934"	0.971"	0.976"	0.991"					
	くつ下	0.962"	0.970"	0.944"	0.984"	0.978"						
歩行	中ヒ	0.962"	0.981"	0.924"	0.969"							
	硬底靴	0.972"	0.967"	0.958"								
	軟底靴	0.962"	0.962"									
	スリ	0.976"										

スリ : スリッパ
軟底靴 : 軟底紳士靴
硬底靴 : 硬底紳士靴
中ヒ : 中ヒール
" : 危険率1%で有意

あったことを附記する。

3.7 床振動の評価指標の提示

3.7.1 振動評価尺度と物理量との対応

図－3.15に、3.6.2で構成した振動評価尺度と3.5.3で設定した物理量 $V I(1)$ との関係を示す。図の①～⑦の破線は、表－3.4に示した各判断範ちゅうの位置を示している。

いずれの図でも両者はおおむねなめらかに対応しており、図中点線で示したごとく対応の中心傾向を示す曲線を描くことができる。このうち歩行動作の一部でN0.18の試料床 ($V I(1)=0.258$) の点がやや対応から外れる傾向がみられるが、これは歩行動作の加振周期と試料床の固有周期が非常に近似しているため、試料床上に一步着地して歩き抜ける動作では若干振動を感じにくかったためと思われる。しかしN0.18の試料床は、振動の減衰時間が極端に長く ($T_h=2.4360\text{sec}$) 実在する床の振動性状の範囲を大きく逸脱した試料床であること、ほかの動作ではよい対応を示していることから、特殊なケースとみなすべきで、全体の中心傾向を図の点線のように描いても大きな問題とはならないと考える。

さらに図－3.15から以下のことがいえる。

- ・ いずれの対応曲線もS字型を示しており、おおむね $V I(1) < -0.7$, $-0.2 < V I(1)$ の範囲では振動評価尺度がほぼ一定になることから、3.6.1.3で設定した試料床群の振動性状の範囲が、本章の目的を達成するうえで十分であったこと、 $V I(1)$ の値が図に示した範囲外のより振動する床およびしない床の評価尺度値が、それぞれ一定になるとみなせることがわかる。

- ・ いずれの図でも両者の対応曲線に床振動の最適値などは表れておらず、より振動しない床ほど評価が高くなっている。特に比較的振動しない試料床の一部

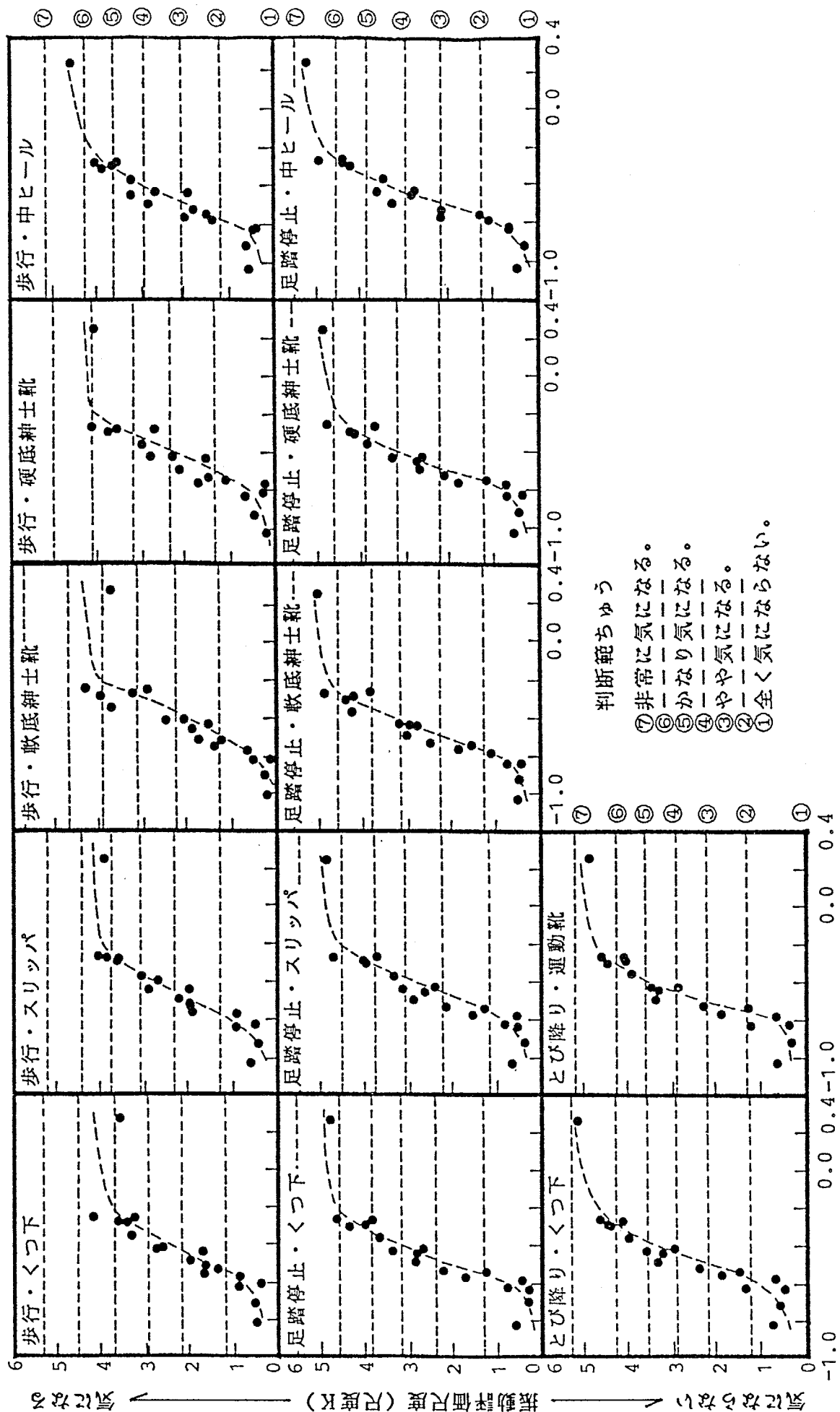


図 - 3.15 V I (1) と振動評価尺度との関係

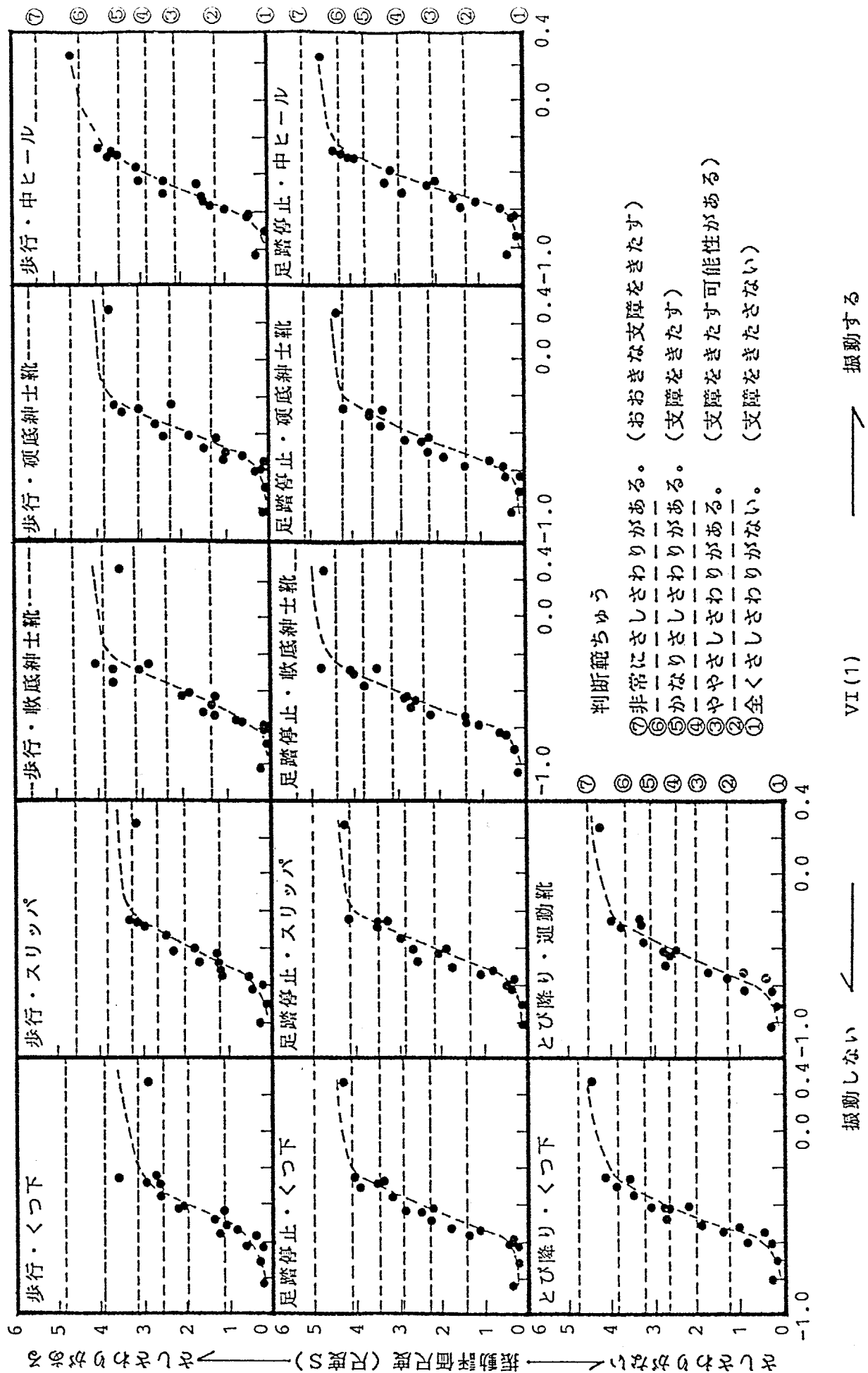


図-3.15 VI(1)と振動評価尺度との関係

には非常にかたい床 ($\log(U_{F1} - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1}) = 0.2538$) も含まれているが、床振動の評価は低下していないことから、かたさの観点から床にはやわらかさを出す適度な変形が求められるものの(2.6.1参照)、振動の観点からは、振動の減衰時間とともに変形量が小さい床ほど評価が高いことがわかる。

- ・動作、履物が同一であれば、V I(1)と尺度K, 尺度S, 尺度Fの3つの振動評価尺度との対応に明確な差はみられず、床振動の気になり具合とさしさわりの具合、不安感の感じ具合とは、いずれもほぼ同程度と判断されている。

- ・動作別にみると、歩行の場合加振力がほぼ同程度と思われる足踏停止と比較し、特に振動する床においてやや床振動に対して寛容になる傾向がみられる。

原因のひとつとして、受振時の姿勢のちがいにより、歩行の場合足踏停止より振動を感じにくいことが考えられる。また足踏停止と跳躍着地とでは、

V I(1)との対応に動作による明確なちがいはみられない。

- ・尺度の種類および動作が同じであれば、歩行・中ヒールを除き、履物のちがいによる振動評価尺度とV I(1)との対応に明確な差異はみられないことから、履物のやわらかさは床振動の評価にほとんど影響しないことがうかがえる。歩行・中ヒールの場合に同じV I(1)に対して評価が低くなっているのは、履物の形状による不安定さから生じているものと推察できる。

- ・上述した種々の知見から、3.6.1.5で選定しなかった動作、履物および履物と床用途の組合せでの床振動の評価も、動作時の加振力の大きさ、受振時の姿勢、履物の形状などを資料として、本検査結果に基づいて類推できるものとする。

3.7.2 床振動の評価指標の提示

図-3.15から、仮に範ちゅう②, ③, ④, ⑤を許容基準とした場合の許容範囲(例)を求め、図-3.16に一覧にした。図-3.16の許容範囲には範ちゅう②, ③, ④, ⑤の4段階があるが、実際には状況に応じて許容範囲を4段階の中から

振動しない ← VI(1) → 振動する -1.0 -0.5 0.0			(想定する床用途) [評価の前提条件]	動作・履物
		気さ不安 に な さ 感	(住居の居室) [日常生活するうえで]	歩行・くつ下
		気さ不安 に な さ 感	(住居の廊下) [日常生活するうえで]	歩行・スリッパ
		気さ不安 に な さ 感	(事務所・病院等) [仕事をするうえで]	歩行・軟底紳士靴
		気さ不安 に な さ 感		歩行・硬底紳士靴
		気さ不安 に な さ 感		歩行・中ヒール
		気さ不安 に な さ 感	(住居の居室) [日常生活するうえで]	足踏停止・くつ下
		気さ不安 に な さ 感	(住居の廊下) [日常生活するうえで]	足踏停止・スリッパ
		気さ不安 に な さ 感	(事務所・病院等) [仕事をするうえで]	足踏停止・軟底紳士靴
		気さ不安 に な さ 感		足踏停止・硬底紳士靴
		気さ不安 に な さ 感		足踏停止・中ヒール
		気さ不安 に な さ 感	(住居の居室) [日常生活するうえで]	跳躍着地・くつ下
		気さ不安 に な さ 感	(体育館) [運動をするうえで]	跳躍着地・運動靴

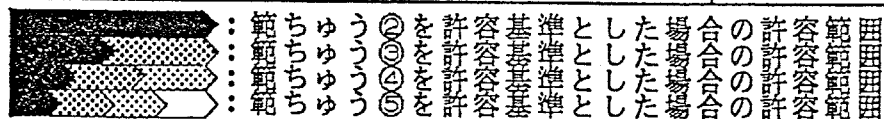


図-3.16 床振動の許容範囲(例)

ら選定することが必要となる。

以上から図－3.15を床振動の評価指標の基本として、また図－3.16を床振動の評価指標として提示する。

つぎに提示した評価指標の性格についての留意点を述べたい。提示した評価指標は官能検査による判断を基にしているが、振動に関する検査である旨教示したうえで求めた検査員の反応と、日常生活の中で無意識に近い状態で感受した振動に対する居住者の反応とでは、振動の評価基準に差があることが予想される点である。すなわち実際の場合では、わずかでも振動を感じさえすれば苦情の発生につながることもあったり³²⁾、逆に振動に慣れてしまうと大さわぎするまでにはならないなどの傾向があると思われる。したがって床振動の評価基準の策定など本章の結果を適用する際には、上述したような実際面での傾向をも十分吟味すべきと考える。しかしながら3.6における検査では、できるだけ実生活における状況を想定したうえで判断するよう綿密に教示したので、3.6.2で求めた評価尺度が実際面での平均的な反応と大きく隔たることはないといえることから、提示した評価指標は十分使用に耐えらると思われる。

3.8 床振動の評価方法の提示

居住性からみた人間の動作により発生する床振動の評価方法のうち、振動発生者と受振者が同じ場合の評価方法および手続きを以下のように提示する。

- 1) 床振動測定装置を用いて、対象とする床の物理量 $V I (1)$ を測定する。
- 2) 求めた $V I (1)$ を3.7.2で提示した床振動の評価指標に照合して、対象とする床を評価する。

なお本評価方法を適用できる床振動の範囲は、基本的には3.6で用いた試料床の範囲から、

$$V I (1) = -0.9 \sim 0.3$$

$$D_{\max} : 0.04 \sim 0.70 \text{ (cm)}$$

$$T_h : 0.30 \sim 2.50 \text{ (sec)}$$

$$\text{振動数: } 6 \sim 40 \text{ (Hz)}$$

とするが、3.7.1で述べた理由から、この範囲外のより振動する床、振動しない床の評価も同様の方法で類推可能と考えられる。

以上であるが、2)でいずれの評価指標を用いるかは対象とする床の用途、使用状況などに応じて適宜選択する必要がある。また架構式の床などで振動性状が位置により異なる場合、現段階では床の構造、実際の使用時の動作位置などを考慮して代表的ないくつかの点の物理量を算出し、各位置に対する使用頻度などを加味して評価するのが、基本的な方法となる。

3.9 本章の結論

本章の結論は以下のとおりである。

- 1) 種々の動作時に感じられる床振動の感覚上の序列を表す振動感覚尺度を官能検査手法により構成するとともに、尺度相互の相関から床振動の測定方法確立のための有効な知見を得た。
- 2) 1)で得られた知見から第2章で設計、試作した床のかたさ測定装置を床振動測定装置として準用し、実情に即した条件下での床の挙動を測定するとともに、種々の観点から本装置の妥当性を確認した。
- 3) 床振動測定装置で測定される床の最大変形量および床振動の減衰時間を基本として、1)で構成した振動感覚尺度と対応する物理量 $V I (1)$ を設定した。
- 4) 官能検査手法を用い、具体的に様々な状況を想定したうえでの床振動に対する評価判断を求め、床振動の気になり具合、さしさわり具合などを定量的に表す振動評価尺度を構成した。

5) V I (1)と4)で構成した振動評価尺度との関係を検討し、床の用途、使用状況などに応じた床振動の評価指標を提示するとともに、振動発生者と受振者が同じ場合の床振動の評価方法を究明した。

第4章 居住性からみた建築物床の鉛直方向の振動の評価方法
 （振動発生者と受信者が異なる場合）

4.1 本章の目的，範囲

人間の動作により発生する床の鉛直方向の振動は、居住性の観点から重要な性能といえる。近年、建築物床の剛性の低下，軽量化，床構造の大スパン化にともない、歩行など建築物内での人間の日常的な動作により床振動が発生し、振動障害の発生につながる事例が多くなる傾向にあり、居住性からみた床振動の妥当な評価方法の確立が望まれている^{27), 28), 29), 30), 31)}。

第3章では、歩く，立つなど日常一般的な動作に供する床全般を対象として、関連する既往の研究成果の適用性を検討するとともに、人間の歩行時と近似した荷重条件で床を加振し、人体の体重などの要因も含め実情と近似した条件下で床振動を受振できる床振動測定装置を開発し、最終的に振動発生者と受振者が同じ場合の床振動の居住性からみた評価方法を提示した。さらに第3章では、振動発生者と受振者が異なる場合の評価方法も、同様の手法で究明できる可能性が高いことを述べた。

本章の目的は、人間の動作により発生する床の鉛直方向の振動を動作する人とは異なる人が感じる場合の振動感覚上の大きさを表示する物理量およびその測定方法を設定し、さらにこの物理量と人間の床振動に対する評価との関係から、居住性からみた床振動の評価指標を求め、これらの結果から最終的に振動発生者と受振者が異なる場合の床振動の評価方法を確立することにある。

本章で対象とする床および床振動の範囲は、第3章と同一である。

4.2 本章と関連する既往の研究

振動に対する人間の感覚に関する研究は、多くの分野で古くからなされており、3.2で述べたとおり、定常振動を対象としたものを中心に、数多くの振動感覚スケールが提示されている^{30), 33), 34), 35), 36), 37)}。またこれらの振動感覚スケールに床振動の実測値を照合した例が、これまでに多数報告されている。

しかし本章で対象としている、人間の動作により発生する振動に対する振動感覚には、振幅と振動数のみならず減衰の要因が大きく影響するため、これらの振動感覚スケールで本章における振動感覚を表示するのは困難であり、本章における振動感覚を表示するには、減衰の要因をより厳密に取り入れる必要があることが、3.5で得られた知見から容易に予測できる。

一方人間の動作により発生する床振動を対象に、振動発生者と受振者が異なる場合の床振動の評価方法を提示した研究例としては、長スパン構造床を対象とした櫛田らの研究²⁹⁾および木質系床を対象とした安藤らの研究^{38), 39)}, G. H. Athertonらの研究^{48), 49)}があげられる。またこのほかにも、種々の実用的な床振動の測定方法や測定装置がこれまでに提案されている。

これらの貴重な成果は参考になるが、櫛田、安藤、G. H. Athertonらの研究成果は、対象としている床の材料・構法が限定されていること、さらにほかの研究も含め、床振動に対する人間の反応の定量化が十分になされていないことから、これらの成果を本章に直接適用するのは困難と考えられる。

なお関連する既往の研究として、人間の動作により発生する床振動の実測例や、人体の振動特性に関する研究など、多数の報告があることを附記する。

4.3 本章における研究方法

本章における研究方法および手続きは以下のとおりである。

- 1) 振動性状を変化させることができる試料床と、試料床に所定の加振力を与えられる試料床加振装置を製作し、官能検査手法を用いて、試料床加振装置により発生した試料床の鉛直方向の振動に対する人間の振動感覚上の反応を求め、尺度構成理論^{21), 22)}を適用して、床振動の振動感覚上の大きさを表示する心理学的尺度（以降、振動感覚尺度と記す）を構成する。
- 2) 3.5.1で述べた床振動測定装置を実情と近似した条件下で床振動を受振でき

る受振器として準用し、試料床加振装置で加振したときの試料床の挙動を測定する。

3) 1)で構成した振動感覚尺度と、2)で測定した試料床の挙動から得られる種々の物理量との対応を検討し、床振動の振動感覚上の大きさを表示できる妥当な物理量を設定する。

4) 1)と同様の試料床および試料床加振装置を用い、官能検査手法を用いて試料床加振装置により発生した試料床の鉛直方向の振動に対する人間の評価判断を求め、尺度構成理論^{21), 22)}を適用して、床振動がどの程度気になるかを定量的に表す心理学的尺度（以降、振動評価尺度と記す）を構成する。

5) 4)で構成した振動評価尺度と3)で設定した物理量との対応を検討し、居住性からみた床振動の評価指標を提示する。

6) 人間が歩行などの動作時に床に与える鉛直荷重を基礎資料として、床に振動を発生させて評価するための加振力として典型的で、かつ再現性のある加振力とその加振方法を設定するとともに、3)で設定した物理量の測定上の留意点、5)で提示した床振動の評価指標の使用方法を整理し、それらをあわせて居住性からみた床振動の評価方法として提示する。

以上本章では、床振動測定装置で求める床の振動性状と人間の心理的反応との対応を軸に研究を進めるが、人間の生理的反応による裏付けなどに関しては今後の課題としたい。

4.4 床の振動感覚に関する官能検査および振動感覚尺度の構成

4.4.1 官能検査の概要

振動感覚に関する官能検査の検査手法、検査試料、検査員、姿勢、履物などを表-4.1に一覧にした。以下におもな事項について説明を加える。

表－4.1 振動感覚に関する官能検査要領一覧

構成する尺度	振動感覚尺度
尺度構成手法	系列範ちゅう法
判断範ちゅう	この床で感じる鉛直方向の振動と、 標準床で感じる振動とを比較すると、 ⑦この床の方が非常に振動すると感じる。 ⑥この床の方がかなり振動すると感じる。 ⑤この床の方がやや振動すると感じる。 ④同じである。 ③標準床の方がやや振動すると感じる。 ②標準床の方がかなり振動すると感じる。 ①標準床の方が非常に振動すると感じる。
検査試料	21試料
検査員	成人男女15名（21～30歳）
姿勢	立位，椅子腰掛位，座位の3種類
履物	くつ下

4.4.1.1 構成する尺度

構成する尺度は、種々の姿勢で受振される床振動の感覚上の序列を表す、振動感覚尺度とした。

4.4.1.2 検査手法の選定

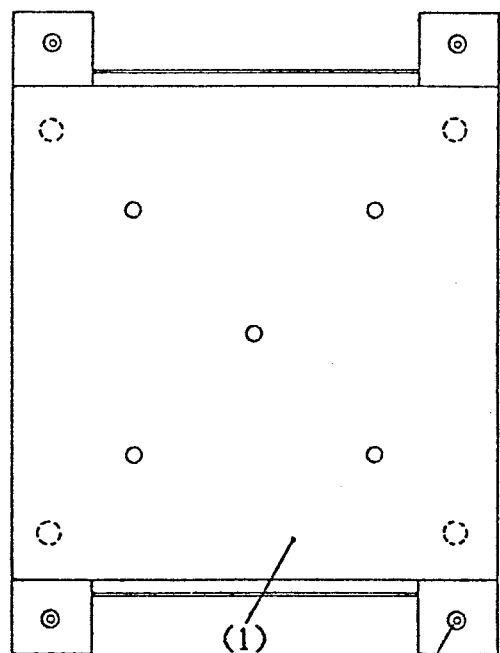
検査手法として、この種の刺激を対象とした検査における手法としての適用の妥当性が実証されている⁴⁵⁾、標準試料と検査試料の振動を判断範ちゅう（表-4.1に示す）に従って比較判断する、系列範ちゅう法^{21), 22)}を選定した。

4.4.1.3 検査試料，標準試料の設定

本検査では、振動性状を変化できる試料床と、試料床に所定の加振力を与えられる試料床加振装置を製作し、試料床と試料床加振装置の加振力の組合せを、検査試料として設定することとした。図-4.1，写真-4.1に試料床および試料床加振装置の概要を示す。

試料床は、パネル重量調整用重錘（2）により重量を変化させられる重量可変パネルと、これを支持するコイルスプリング（4）からなり、パネル重量、コイルスプリングの剛性および減衰特性を変えることにより、様々な振動性状が得られるようになっている。

また試料床加振装置は、モータ（M），回転板（I），上下動シャフト（G）などからなる駆動部と、荷重変換器（A），荷重受け板（D），加振用スプリング（C）などからなる加振力伝達部から構成されており、このうち加振力伝達部は、試料床下面に吊り下げられている。本装置は上下動シャフトに固定された加圧板（F）の下降→上昇（周期0.6秒）により、加振用スプリングを圧縮→開放するときに荷重受け板に加わる荷重を、加振力伝達部を介して試料床に伝え、試料床のコイルスプリングを圧縮→開放することにより振動を発生させ



試料床

- (1) パネル上板 (合板)
 - (2) パネル重量調整用重錘
 - (3) パネル下板
 - (4) コイルスプリング
 - (5) 横揺れ防止用ストロークベアリング
- 重量可変パネル

試料床加振装置

- (A) 振重交換器
 - (B) 荷重受け板吊り棒
 - (C) 加振用スプリング
 - (D) 荷重受け板
 - (E) 荷重受け板上下ハンドル
 - (F) 加圧板
 - (G) 上下動シャフト
 - (H) 上下動シャフト支持脚
 - (I) 回転板
 - (J) 減速器
 - (K) Vベルト
 - (L) クラッチ
 - (M) モーター
- 加振力伝達部
- 駆動部

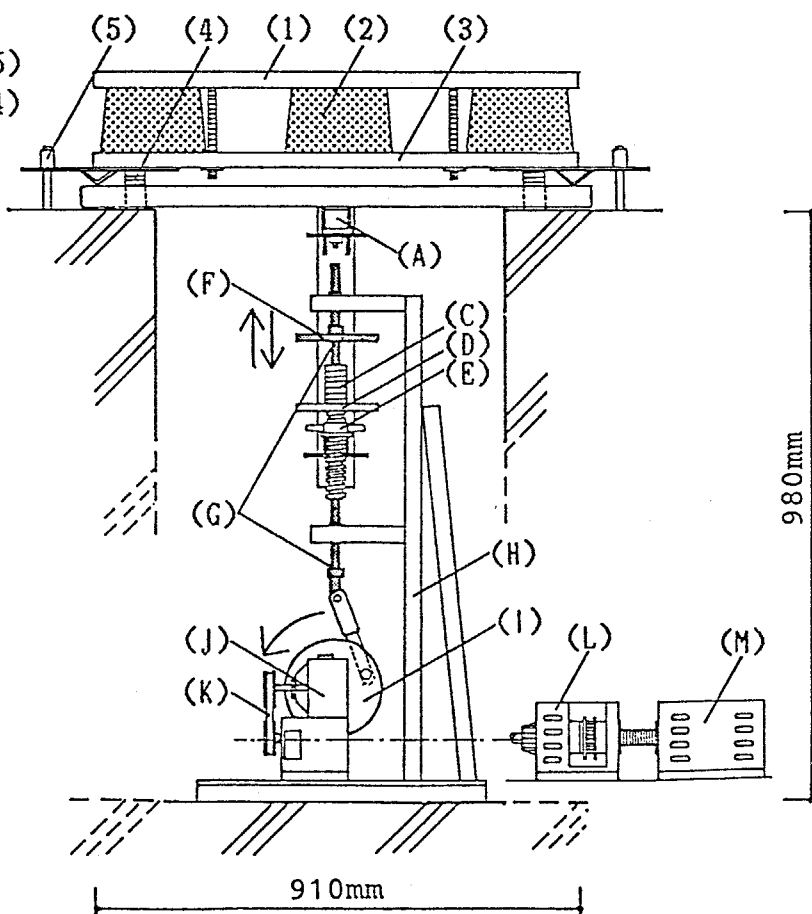
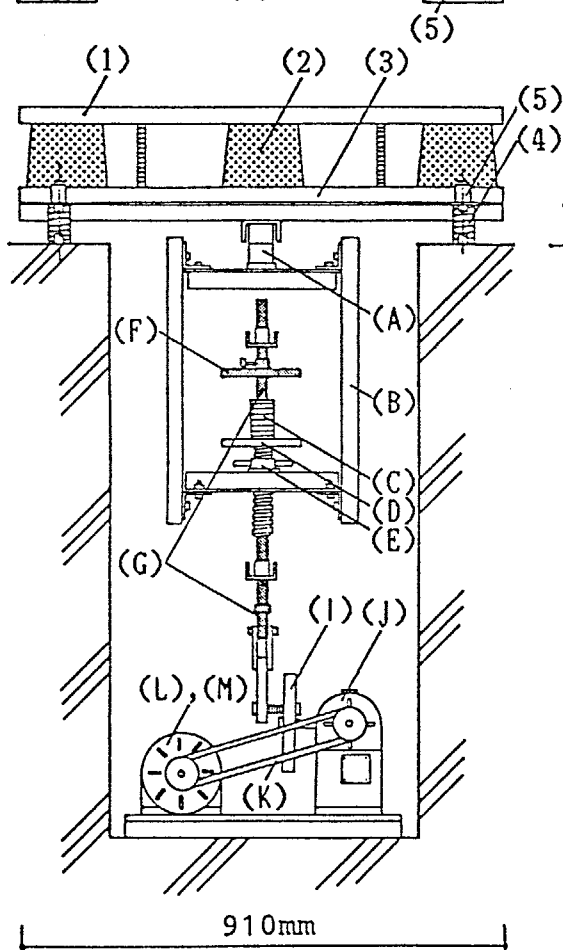
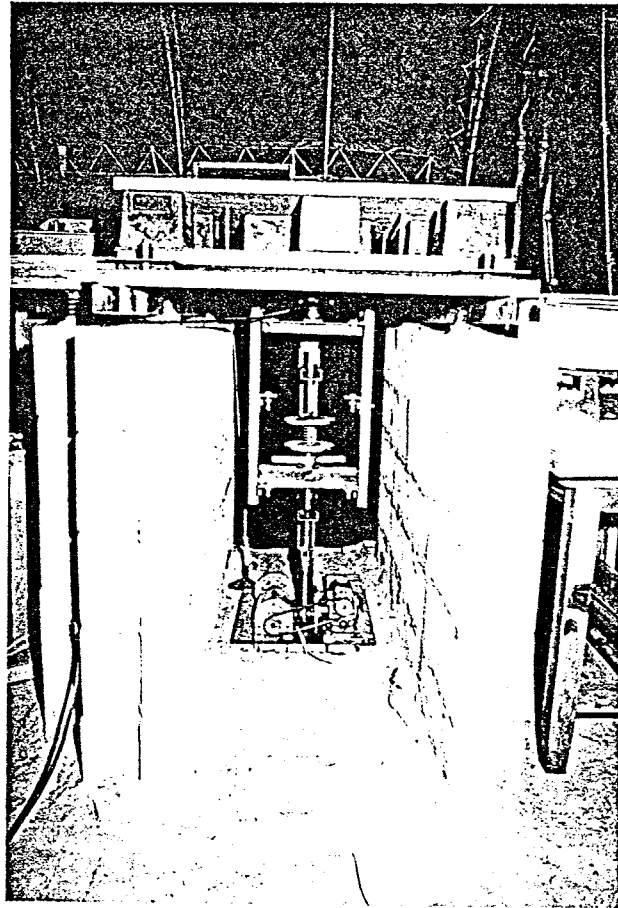


図-4.1 試料床および試料床加振装置の概要



写真－4.1 試料床および試料床加振装置

る機構となっている。なお試料床に与えられる加振力は、加振用スプリングの剛性と圧縮量を調整することにより、種々変化させることができる。

本検査では、実在する床での振動の測定結果などを参考に、予備的実験として種々の加振用スプリングの剛性と圧縮量の組合せ（以降、加振条件と記す）で発生する試料床の振動の測定を試行錯誤的に行い、最終的に21種類の検査試料を設定した。検査試料は、表－4.2の”検査試料の概要”の覧に示すとおり、10種類の試料床と8種類の試料床加振装置の加振条件の組合せからなっている。

なお試料床と試料床加振装置の製作および検査試料の設定にあたっては、以下の点に留意した。

- ・ 試料によって検査員に与えられる振動は、歩行、かけ足など人間の日常的な動作により発生する床振動のうち、居住性の観点から問題となると思われる範囲を十分包含するものとする。

- ・ 検査員に疲労、倦怠を感じさせない試料数とする。
- ・ 検査員が所定の姿勢をとるのに十分な大きさとする。
- ・ 検査期間中、振動性状が変化しないような試料とする。

一方、検査時に検査試料の比較対象となる標準試料として、床パネルとコイルスプリングからなる標準床と、これに所定の加振力を与える標準床加振装置を製作し、試料床および試料床加振装置に並設した。図－4.2，写真－4.2に標準床および標準床加振装置の概要を示す。

標準床加振装置は、電磁石（E）のスイッチを切り落下重錘（F）をシャフト（A）に従って落下させたときにゴムばね（G）を介して荷重受け板（H）に加わる動的荷重を、シャフトにより標準床に伝え振動を発生させる機構となっている。

標準床のパネル重量，コイルスプリングの剛性および標準床加振装置の落下重錘の重量，重錘落下高さ，ゴムばねなどの仕様は、図－4.2に示すとおりである。

表-4.2 振動感覚に関する官能検査の検査試料の概要
および床振動測定装置による物理量測定結果

検査試料 NO	検査試料の概要					床振動測定装置による物理量測定結果				
	試料床			加振条件						
	W	k	f	k'	σ	D max	T m	V m	T h	V I (2)
1	40	32.6	9.68	12.0	5	0.0629	0.068	0.9250	0.253	-0.855
2				833.3	5	0.0551	0.040	1.3775	0.352	-0.637
3				833.3	10	0.1221	0.046	2.6543	0.399	-0.367
4	40	260.0	20.62	833.3	30	0.0393	0.046	0.8543	0.270	-0.882
5	120	32.6	5.58	833.3	5	0.0724	0.064	1.1313	0.318	-0.701
6				833.3	10	0.1614	0.066	2.4455	0.546	-0.227
7	120	260.0	14.00	833.3	10	0.0329	0.031	1.0613	0.295	-0.811
8				833.3	30	0.0504	0.033	1.5273	0.502	-0.465
9	120	833.3	22.65	833.3	10	0.0048	0.020	0.2415	0.142	-1.622
10				833.3	60	0.0212	0.057	0.3719	0.431	-0.915
11	310	(32.6)	7.53	12.0	10	0.0235	0.082	0.2866	0.082	-1.683
12				833.3	30	0.0739	0.061	1.2115	0.617	-0.396
13	310	260.0	9.29	12.0	30	0.0373	0.153	0.2438	0.153	-1.407
14				833.3	30	0.0533	0.053	1.0057	0.961	-0.270
15				833.3	60	0.1072	0.055	1.9491	1.229	0.042
16	310	833.3	14.37	833.3	10	0.0073	0.031	0.2361	0.284	-1.287
17				833.3	60	0.0249	0.045	0.5533	0.442	-0.804
18	310	(333.3)	15.34	12.0	50	0.0159	0.241	0.0660	0.241	-1.569
19				833.3	60	0.0217	0.045	0.4822	0.300	-1.016
20	760	833.3	10.25	833.3	30	0.0172	0.052	0.3308	1.136	-0.529
21				12.0	50	0.0167	0.252	0.0663	0.252	-1.545

W : 試料床のパネル重量(kg)
 k : 試料床のコイルスプリングの剛性(kgf/cm)
 (k) : ウレタンでラップしたコイルスプリングを使用
 f : 試料床の固有振動数(Hz)
 k' : 試料床加振装置の加振用スプリングの剛性(kgf/cm)
 σ : 試料床加振装置の加振用スプリングの圧縮量 $\times k'$ (kgf)

D max : 最大変形量(cm)
 T m : 変形時間(sec)
 V m : 変形速度(cm/sec)
 T h : 減衰時間(sec)

標準床

- (1) パネル重量調整用重錘
 (2) パネル下板 (合板)
 (3) コイルスプリング：剛性120.8(kgf/cm)

標準床加振装置

- (A) シャフト
 (B) 重錘取り付け座
 (C) 重錘取り付け座上下ハンドル
 (D) 重錘取り付け座支持脚
 (E) 電磁石
 (F) 落下重錘：重量5(kg)
 (G) ゴムばね (床振動測定装置と同一)
 (H) 荷重受け板

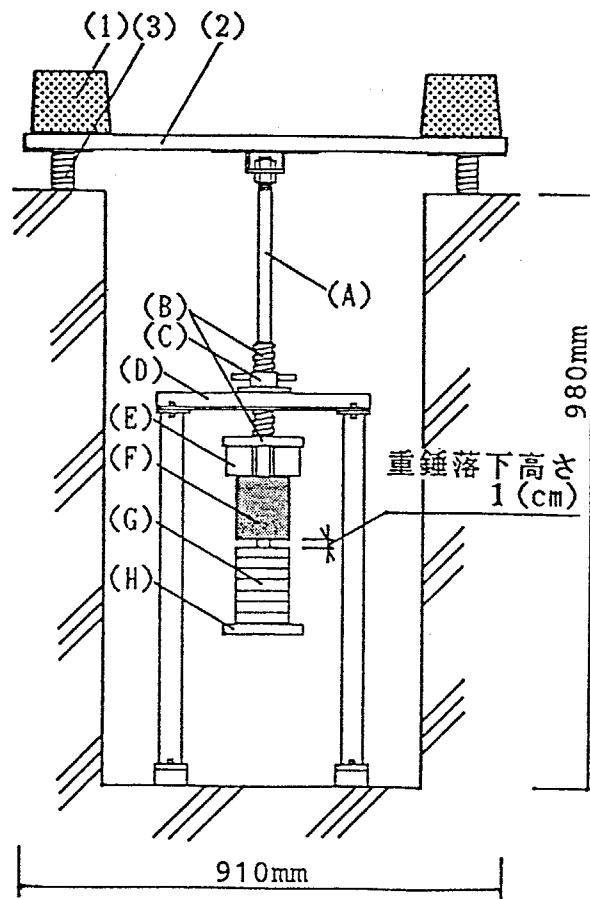
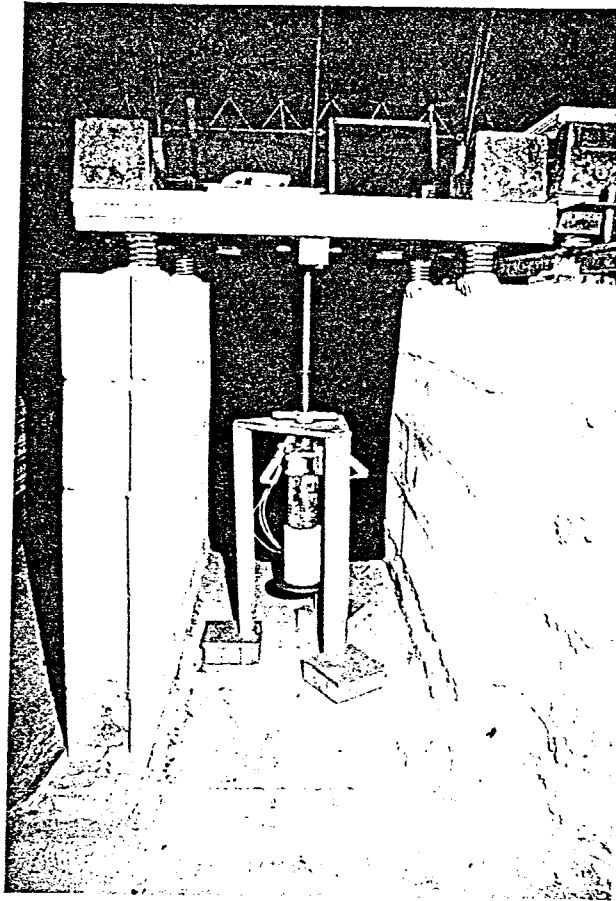


図 - 4.2 標準床および標準床加振装置の概要



写真－4.2 標準床および標準床加振装置

る。これらの仕様は、標準試料の振動が、振動感覚上検査試料群のほぼ中庸となるよう決定したものである。

なお本検査では、いずれの検査試料でも1回の加振により発生する振動を判断の対象とすることとし、加振の頻度などの要因に関する検討は、床振動の評価の段階で行うこととした。

4.4.1.4 検査員の選定

検査員として、試料床と標準床の振動の感覚上の比較判断に検査員の年齢などの層による差は小さく、感覚上の振動の大小の序列は大きく異なるものとみなし、成人男女計15名（21～30歳）を選定した。

4.4.1.5 姿勢、履物の選定

本章では、他人が発生させた床振動を受振する観点で代表的かつ一般的受振姿勢として立位、椅子腰掛位、座位の3種類を選定した。つまり立位では、試料床および標準床上中央に立った状態で感じる振動、椅子腰掛位では試料床および標準床上中央に設置した椅子に腰掛け、かつ足裏が接地した状態で感じる振動、座位では試料床および標準床上中央に腰を降ろした状態で感じる振動を、各々判断させることとした。なお椅子は、ばねやクッション材などが取り付けられていないものを用いた。

また履物は、3.4.3において床振動の強弱に対する振動感覚上の序列は履物によりほとんど変化しないことが明かとなったことから、薄手のくつ下履きとした。

4.4.2 官能検査経過、結果および振動感覚尺度の構成

4.4.1で述べた条件のほかに、床の鉛直方向の振動以外の要因は判断に入れな

いこと、疲れたら自由に休めることなどを条件に検査を実施し、基礎データを
得た。官能検査状況を写真－4.3に示す。なお検査期間中、各試料床の自由振動
を適宜測定し、振動性状が一定に保たれていることを確認した。

図－4.3 に官能検査の分散分析結果を示す。すべてにおいて検査試料の刺激
の差の効果を表す主効果の分散比がほかと比べて非常に大きく高度に有意であ
り、かつ寄与率も高いことから、設定した検査試料群は十分差異のある刺激を
検査員に与えており、かつ検査員にこれらの差に対する共通の判断基準がある
こと、さらに検査手法も含め、本検査自体、振動に対する感覚上の判断を求め
る検査として、不都合はなかったとみなせることがわかる。

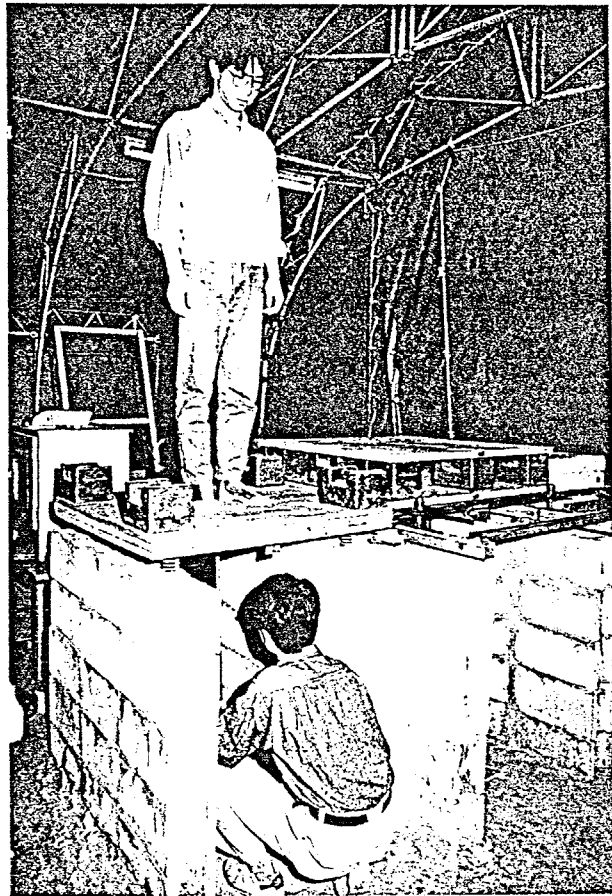
一方個人差がいずれも有意となっているが、この種の刺激を対象とした検査
では通常あり得ること⁴⁵⁾、さらに分散比、寄与率が主効果と比べて非常に小さ
いことから大きな問題とはならず、構成される尺度は十分意味を持つといえる。
ただし前提として、代表値として求められる各尺度は、いずれも個人差を内包
していることを認識する必要があるといえる。

以上、構成される尺度の有意性を認識したうえで、官能検査で求めた基礎デ
ータを用い、尺度構成理論^{21), 22)}に従って振動感覚尺度を構成した（尺度の概
要は以降に図示することとし、詳細は省略する）。

4.4.3 考察

図－4.3に構成した振動感覚尺度を尺度線上に示し、表－4.3に振動感覚尺度
相互の相関係数を示した。なお図－4.3の折れ線は、各検査試料の尺度値を数直
線上にプロットし検査試料ごとに結んだものであり、尺度値が大きいほど振動
すると感じられていることを意味する。

これらの図、表から、各検査試料の振動感覚上の相対的序列は、受振姿勢に
よらずほとんど同一なことがわかる。この結果から、4.4.1.5で選定した姿勢と



写真－4.3 振動感覚に関する官能検査状況

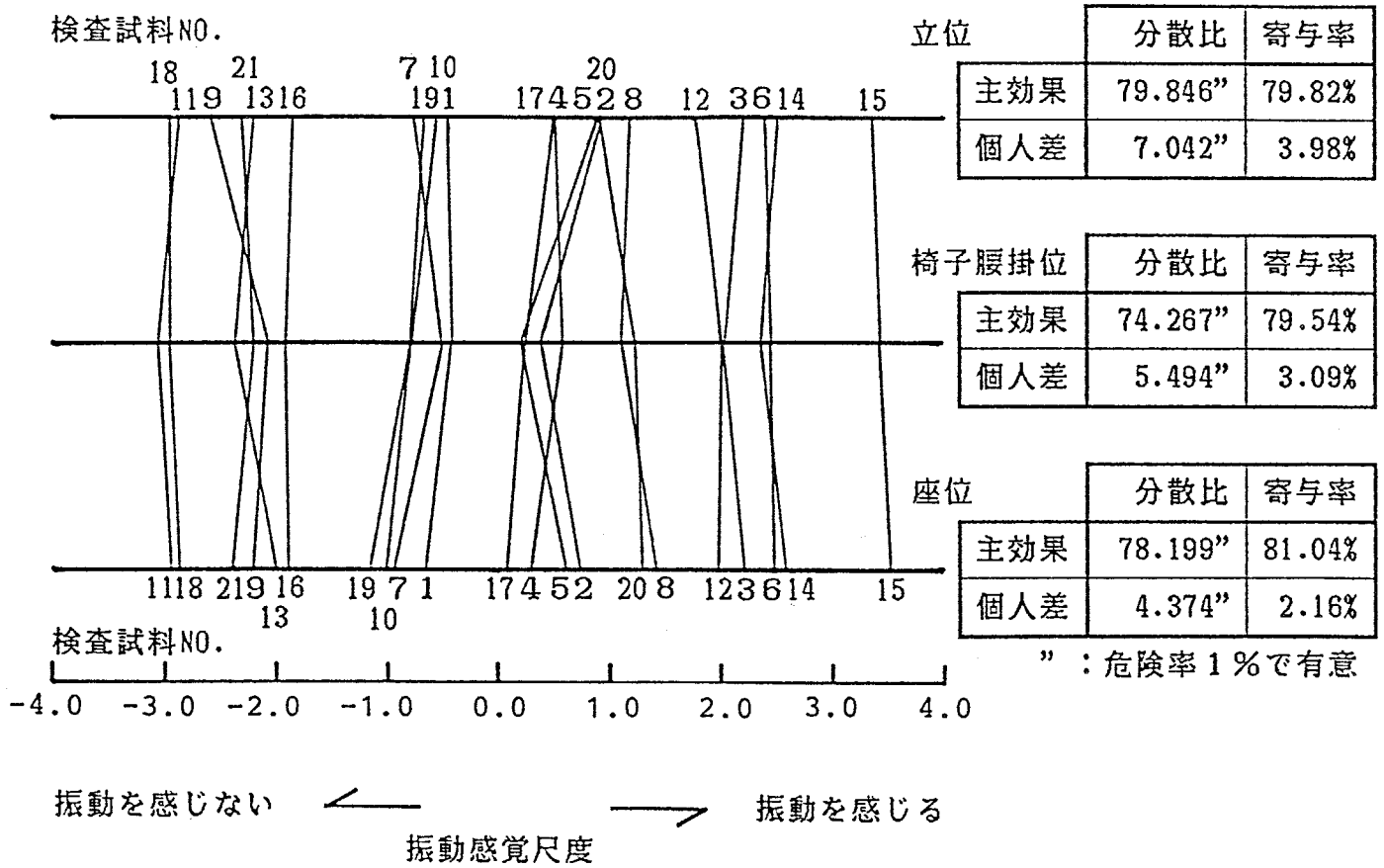


図 - 4.3 振動感覚尺度線図と分散分析結果

表－4.3 振動感覚尺度の相関表

	立位	椅子腰掛位
椅子腰掛位	0.991”	0.993”
座位	0.992”	

”：危険率1％で有意

類似した姿勢で受振する場合でも、振動の感覚上の相対的序列は大きく変化しないことが推測できる。

またこのことは、4.4.1.5で選定した姿勢のうち任意の姿勢を選択し、これと近似した条件で床振動を受振できる測定装置による振動の測定結果から、いずれの姿勢での振動感覚尺度ともよい対応を示す物理量を得られる可能性があることを示しており、振動の測定方法の簡易化、統一化が十分可能なことを示している。特に、椅子腰掛位や座位の場合人体の受振体としての特性が立位と比較してどのように変化しているかなどの真の現象を究明できなくても、上述した考え方で得られるひとつの物理量で、いずれの姿勢での人間の振動感覚も表示できることになり、床振動測定装置の汎用性を検討するうえでも重要な知見となる。

4.5 振動感覚尺度と対応する物理量の設定

4.5.1 床振動測定装置

3.5.3では、3.5.1で開発した床のかたさおよび振動測定装置（図-3.5，写真-3.4に示す。なお本章では床振動測定装置と記す）の重量40kgの落下重錘と減衰性の大きいゴムばねからなる荷重体により、歩行時の鉛直荷重のうち床を加振するという観点から主要と思われる部分に近似した動的荷重を与えたときに測定される床の挙動と、重錘の重量をゴムばねを介して床に静的に載荷した条件下で測定される床振動の減衰性状を複合した物理量で、歩行、足踏停止などの動作を行う人間自身の振動感覚を表示する物理量を得ることができた。つまり静的荷重載荷時の本装置の特性は、歩行時、足踏停止時などにおける受振体としての人体の特性を代替するものとみなせることから、本章では本装置を受振器として用い、前述の静的荷重載荷時の条件下での試料床の挙動を測定する

こととした。

ここで受振器の条件を受振姿勢の差異によらずひとつとしたのは、4.4.3において、本章の範囲内では、ひとつの代表的な姿勢での受振状況で、他の姿勢での振動感覚も把握できることを、考察していることによる。

4.5.2 床振動測定装置による試料床の挙動の測定

4.5.1で述べた条件に従い、床振動測定装置を用いて、試料床加振装置で加振したときの試料床の挙動を測定した。なお試料床加振装置の荷重変換器で、試料床に与えられる加振力をあわせて測定した。写真－4.4に測定状況を示す。

図－4.4に測定の結果得られた変形・時間曲線，加速度・時間曲線の例を、荷重・時間曲線とともに示す。ここで加速度・時間曲線は、試料床の固有振動数に近い成分を抽出したものである。

図－4.4から試料床は、加振力として試料床に加わる荷重に相応した変形と、加振力により発生する試料床の固有振動数に近い振動数での減衰振動が複合された挙動を示していることがわかる。このような傾向はいずれの検査試料でも表れており、かつ3.5.1で述べたのをはじめとする、人間の動作時の床の挙動を測定した数多くの報告においても、同様の結果が得られている。

4.5.3 振動感覚尺度と対応する物理量の設定

人間の動作時に発生する床振動に対する振動感覚には、受振初期の床の変形挙動と振動の続き具合のふたつの要因が大きく寄与し、かつ受振初期の床の変形挙動から感じられる振動の強さを表示する物理量としては床の最大変形量、振動の続き具合を表示する物理量としては振幅が所定のレベルまで減衰するのに要する時間（以降、減衰時間と記す）が妥当であることが、基礎的研究^{45), 46)}の結果明らかになっている。さらに3.5.3では、床振動測定装置で測定

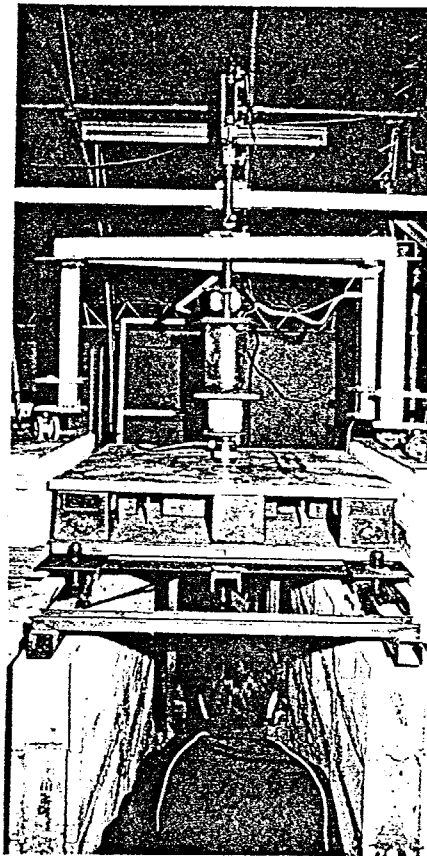
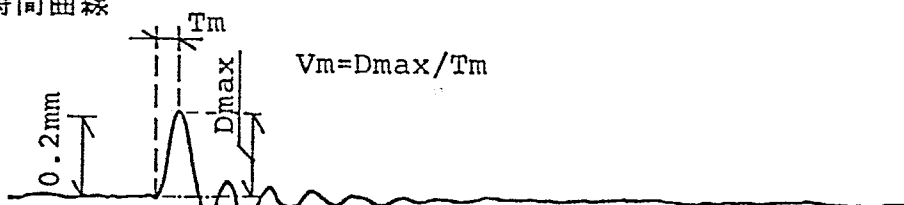


写真-4.4 物理量測定状況

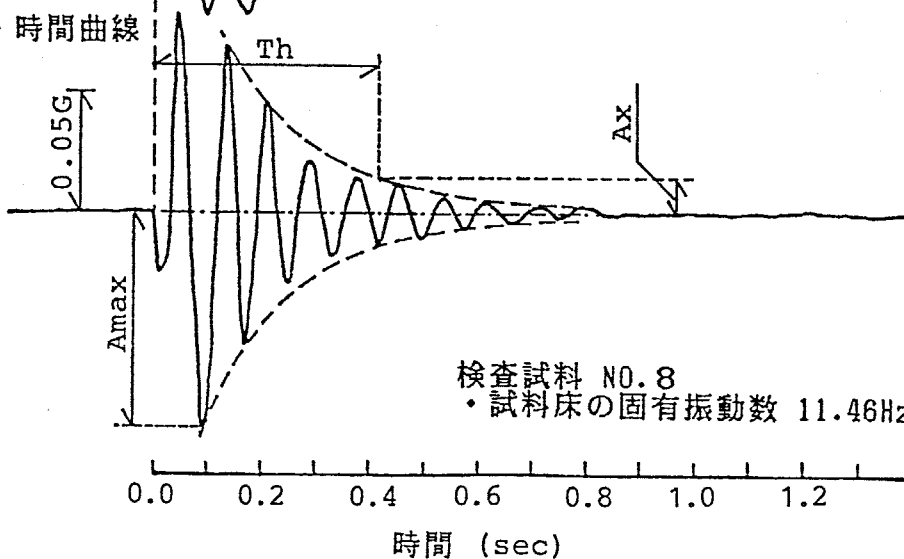
荷重・時間曲線



変形・時間曲線

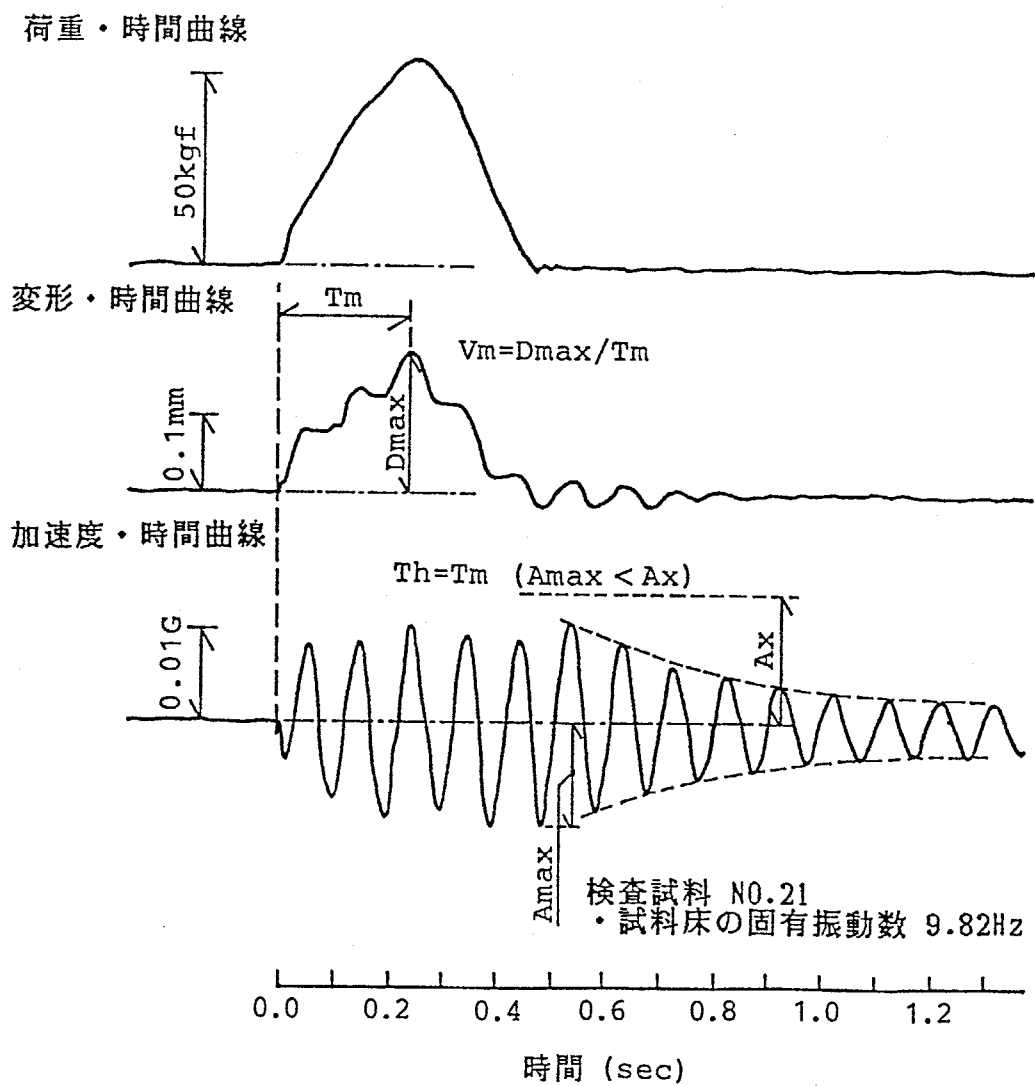


加速度・時間曲線



(イ) 検査試料 NO.8

図-4.4 床振動測定装置による試料床の挙動の測定結果および試料床に与えられる加振力の測定結果の例



(口) 検査試料 NO.21

図-4.4 床振動測定装置による試料床の挙動の測定結果および試料床に与えられる加振力の測定結果の例

される床の最大変形量と床振動の 5 dB (VAL) までの減衰時間からなる物理量 $V I (1)$ で、振動発生者と受振者が同じ場合の床振動の振動感覚を表示できることを究明するとともに、特に足踏停止時の振動感覚も $V I (1)$ で表示できることから、振動発生者と受振者が異なる場合にも、床の最大変形量および床振動の減衰時間を主とする物理量で、振動感覚を表示できる可能性が高いことを述べた。

以上の知見から本章では図-4.4に示した変形・時間曲線から得られる最大変形量 (D_{max}) と、加速度・時間曲線から得られる振動の振幅が一定のレベル (A_x) まで減衰するのに要する時間 (T_h) を用いて、振動感覚尺度と対応する物理量の設定を試みることにし、以下のように検討した。

まず3.5.3を参考に、 A_x の値を、本章で対象とする振動数の範囲では閾値に該当する値³⁵⁾である 5 dB (VGL) とした場合および 5 dB (VAL) とした場合の減衰時間 (T_h) を算出したところ、官能検査時にそれほど振動が長続きすると感じられないいくつかの試料において、減衰時間 (T_h) が非常に大きくなり、不都合なことが判明した。したがって妥当な減衰時間 (T_h) を求めるためには、 A_x の値をより大きくする必要があることがわかった。このことから A_x の値を本章で対象とする振動数の範囲ではマイスター曲線の”弱く感じる”に該当する値³⁵⁾である 20 dB (VGL) とした場合の減衰時間 (T_h) と、 A_x の値を 20 dB (VAL) とした場合の減衰時間 (T_h) を算出したところ、本章で対象とする振動数の範囲内では算出されるふたつの減衰時間 (T_h) の序列に大きな変化はみられず、かついずれの場合も、振動感覚尺度の序列を比較的よく表していることが判明した。よって本章では解析の簡易化なども考慮し、 A_x の値を 20 dB (VAL) とした場合の減衰時間 (T_h) を採用することとしたが、算出される減衰時間 (T_h) には、間接的ではあるが振動数の要因が関与していることを附記したい。なお A_x の値が振動発生者と受振者が同じ場合の値 (5 dB (VAL)) より大きな

値となったのは、受振初期の床の変形挙動が、振動発生者と受振者が同じ場合と比較し感覚上強く感じられるため、相対的に振動の続き具合に対する感覚が、多少鈍感になるためと考えられる。

つぎに基礎的研究^{45), 46)}および3.5.3を参考に、求めた減衰時間 (T_h) と初期の最大変形量 (D_{max}) を取り入れた物理量として、

$$y = A \cdot \log (D_{max} / D_{ref}) + \log (T_h / T_{ref})$$

A: 定数

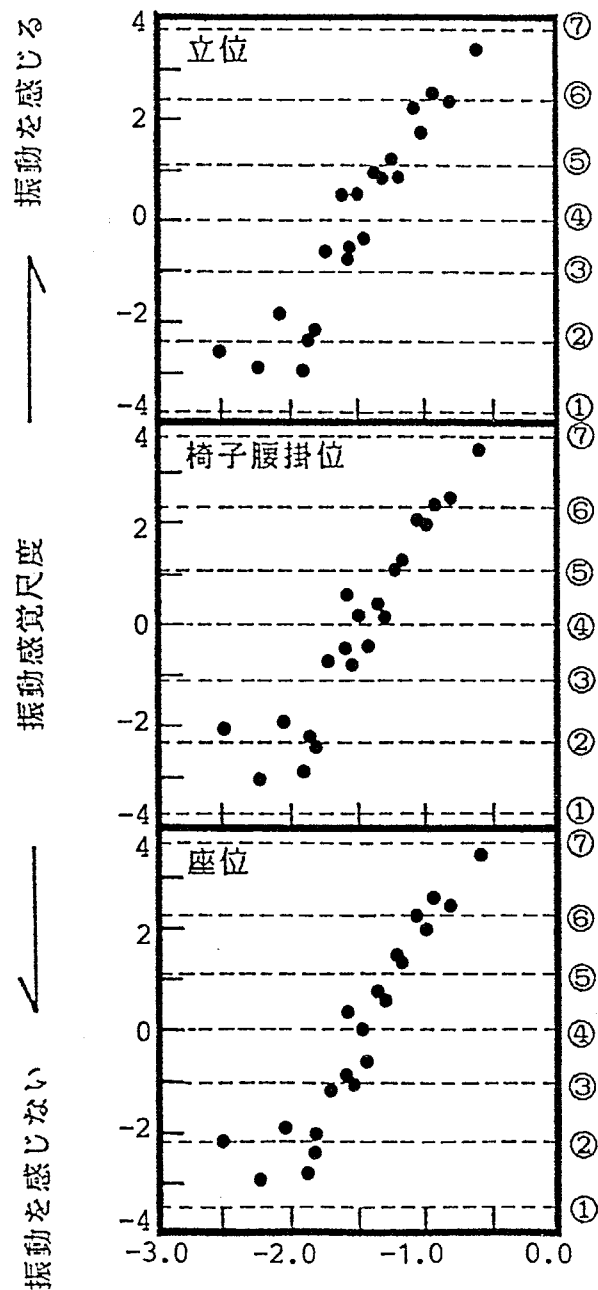
$$D_{ref} = 1 \text{ (cm)}$$

$$T_{ref} = 1 \text{ (sec)}$$

なるモデルを設定し、Aの値を変化させながら各検査試料のyを算出し、振動感覚尺度との対応を検討したところ、両者の対応にわずかではあるが乱れが生じ、満足のいく結果を得るにはいたらなかった。図-4.5に一例として、両者の対応が最もよかったA=0.7の場合のyと振動感覚尺度との関係を示す。

一方、官能検査時の検査員の意見などから、振動発生者と受振者が異なる場合の振動感覚には、受振初期の床の変形挙動のうち、変形の最大値ばかりでなく、変形の速度も影響していることが想定された。またこのような観点から、さきに算出したyと振動感覚尺度との対応の乱れについて詳細に検討したところ、図-4.4に示した変形・時間曲線から得られる、変形が最大値に達するのに要する時間 (T_m) (以降、変形時間と記す) が比較的長い検査試料のyが大きめに、逆に変形時間 (T_m) が比較的短い検査試料のyが小さめに算出されていることが判明した。

以上から本章では、最大変形量 (D_{max}) を変形時間 (T_m) で除した値 (V_m) (以降、変形速度と記す) も要因として取り入れることとし、



$$0.7 \log(D_{\max}/D_{\text{ref}}) + \log(T_h/T_{\text{ref}})$$

($D_{\text{ref}} = 1(\text{cm})$, $T_{\text{ref}} = 1(\text{sec})$)

判断範ちゅう

- この床で感じる鉛直方向の振動と、
標準床で感じる振動とを比較すると、
⑦この床の方が非常に振動すると感じる。
⑥この床の方がかなり振動すると感じる。
⑤この床の方がやや振動すると感じる。
④同じである。
③標準床の方がやや振動すると感じる。
②標準床の方がかなり振動すると感じる。
①標準床の方が非常に振動すると感じる。

図 - 4.5 $0.7 \log(D_{\max}/D_{\text{ref}}) + \log(T_h/T_{\text{ref}})$ と
振動感覚尺度との関係

$$z = B \cdot \log (D_{\max} / D_{\text{ref}}) + C \cdot \log (V_m / V_{\text{ref}}) + \log (T_h / T_{\text{ref}})$$

B, C: 定数

$$D_{\text{ref}} = 1 \text{ (cm)}$$

$$V_{\text{ref}} = 1 \text{ (cm/sec)}$$

$$T_{\text{ref}} = 1 \text{ (sec)}$$

なるモデルを設定してB, Cの値を変化させながら各検査試料のzを算出し、振動感覚尺度との対応図を描きながら目視で両者の対応を検討したところ、 $B = 0.2$, $C = 0.5$ のときにいずれの姿勢での尺度とも最もよい対応が得られた。

以上の検討から、振動感覚尺度と対応する物理量として、姿勢のいかんにかかわらず以下の式で与えられるV I (2) (Vibration Index (2)) を設定した。

$$V I (2) =$$

$$0.2 \cdot \log (D_{\max} / D_{\text{ref}}) + 0.5 \cdot \log (V_m / V_{\text{ref}}) + \log (T_h / T_{\text{ref}})$$

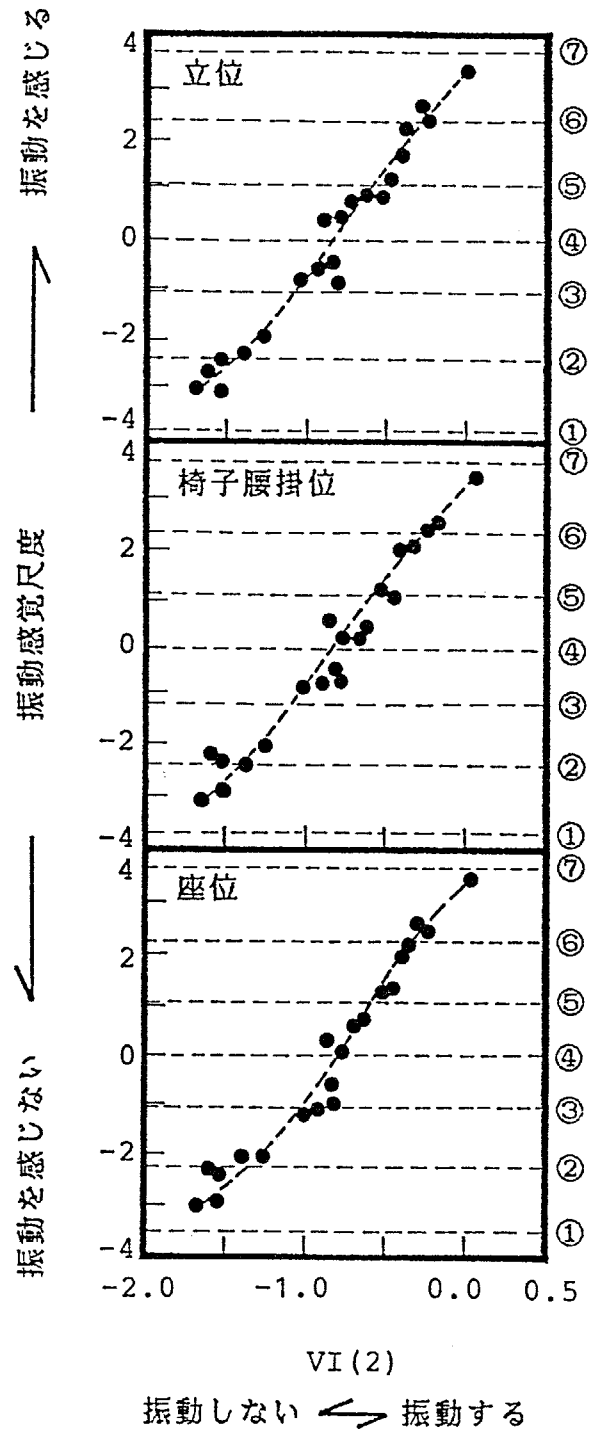
$$D_{\text{ref}} = 1 \text{ (cm)}$$

$$V_{\text{ref}} = 1 \text{ (cm/sec)}$$

$$T_{\text{ref}} = 1 \text{ (sec)}$$

各検査試料の $D_{\max}$, T_m , V_m , T_h , V I (2)の値を、表-4.2の”床振動測定装置による物理量測定結果”の覧に一覧にして示す。なお加速度の最大値($A_{\max}$)が A_x に達しない場合は、受振初期の変形挙動のみを振動として感知しているものとみなし、変形時間(T_m)をもって減衰時間(T_h)とすることとした(図-4.4(口)参照)。

図-4.6に振動感覚尺度とV I (2)との関係を示す。いずれも図中点線で示したごとく両者はなめらかに対応しており、種々の姿勢で感じられる床振動の感覚上の序列を、V I (2)を用いて十分な精度で表示できることが明らかになったといえる。また4.4.1.5で述べた理由から、履物が異なる場合の床振動の感覚上の序列も、V I (2)で表示できるものと考えられる。さらに4.4.3で述べた考察



判断範ちゅう

この床で感じる鉛直方向の振動と、
 標準床で感じる振動とを比較すると、
 ⑦この床の方が非常に振動すると感じる。
 ⑥この床の方がかなり振動すると感じる。
 ⑤この床の方がやや振動すると感じる。
 ④同じである。
 ③標準床の方がやや振動すると感じる。
 ②標準床の方がかなり振動すると感じる。
 ①標準床の方が非常に振動すると感じる。

図 - 4.6 V I (2)と振動感覚尺度との関係

から、他の日常的な姿勢で受振する場合の振動感覚を表示する物理量としても、V I (2)を適用できるものと想定できる。

なおちなみに各試料床の自由減衰振動を測定し、振幅の半減時間を算出して、4.5.1で述べた床振動測定装置で測定される減衰振動と比較した結果を示したのが図-4.7である。図において両者の相関が低いことから、本章で対象とする床の範囲では、自由減衰振動など床単体での振動性状を把握しただけでは、床振動の振動感覚上の大きさを表示する物理量を得るのが困難であることが、3.5.3で述べた振動発生者と受振者が同じ場合と同様に、あらためて確認できたといえる。

4.6 床振動の評価に関する官能検査および振動評価尺度の構成

4.6.1 官能検査の概要

床振動の評価に関する官能検査の検査手法、検査試料、姿勢、履物などを、構成する尺度とともに表-4.4に一覧にした。以下におもな事項について説明を加える。

4.6.1.1 構成する尺度

構成する尺度は、表-4.4に示す2種類の振動評価尺度とした。すなわち尺度Dは、読書・食事等、仕事等などをしているときにときどき（断続的に）床振動を感じたら、（ ）内に提示する用途（住居の居室、事務所・学校・病院等）の床を想定した場合どの程度気になるかを、尺度Rは、読書・食事等、仕事等などをしている間じゅうたえず（連続的に）床振動を感じたら、同様にどの程度気になるかを、それぞれ表すものである。なお3.6において、床振動のさしさわわり具合、不安感の感じ具合は、床振動の気になり具合とほぼ同程度と

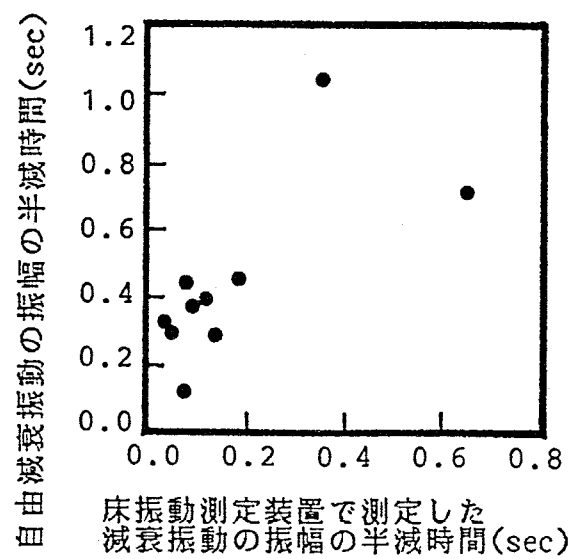


図-4.7 振幅の半減時間の関係

表－4.4 振動評価に関する官能検査要領一覧

構成する尺度		振動評価尺度（尺度D，尺度R）			
尺度構成手法		系列範ちゅう法			
判断範ちゅう		尺度D		尺度R	
		（ ）しているときに、 周りの人の歩行などの動作により、 床がときどき（断続的に） このように振動したら、 ⑦非常に気になると思う。 ⑥――― ⑤かなり気になると思う。 ④――― ③やや気になると思う。 ②――― ①全く気にならないと思う。		（ ）している間じゅう、 周りの人の歩行などの動作により、 床がたえず（連続的に） このように振動したら、 ⑦非常に気になると思う。 ⑥――― ⑤かなり気になると思う。 ④――― ③やや気になると思う。 ②――― ①全く気にならないと思う。	
		（ ）には下記の”想定する床用途”が入る			
検査試料		29試料			
検査員		成人男女20名 （21～30歳）	成人男子10名 （21～30歳）	成人女子10名 （21～24歳）	
履物		くつ下	硬底紳士靴	中ヒール	
姿勢	立位 （想定する 床用途）	○ （住居の居室で 家事・身支度等 をしているとき）	○ （事務所・学校・病院等で 仕事等をしているとき）	○	
	椅子腰掛位 （想定する 床用途）	○ （住居の居室で 読書・食事等 をしているとき）	○ （事務所・学校・病院等で 仕事等をしているとき）	○	
	座位 （想定する 床用途）	○ （住居の居室で 読書・食事等 をしているとき）	×	×	

○：検査を実施した組合せ ×：検査を実施しなかった組合せ

判断されていたことから、これらの尺度は構成しないこととしたが、本検査結果から床振動のさしさわり具合、不安感の感じ具合も容易に類推できると考える。

4.6.1.2 検査手法の選定

本章で求める評価尺度は絶対判断から求めることが望ましいため、検査手法として基礎的研究⁴⁵⁾および3.6において適用の妥当性が実証されている、7範ちゅう（表-4.4に示す）を用いて各検査試料の振動を絶対判断する系列範ちゅう法^{21), 22)}を選定した。

4.6.1.3 検査試料の設定

検査に用いる試料の設定にあたって、以下の点に留意した。

- ・ 試料によって検査員に与えられる振動は、歩行、かけ足など人間の日常的な動作により発生する床振動のうち、居住性の観点から問題となると思われる範囲を十分包含するものとする。
- ・ 検査員に疲労、倦怠を感じさせない試料数とする。
- ・ 検査員が所定の姿勢をとるのに十分な大きさとする。
- ・ 検査期間中、振動性状が変化しないような試料とする。

以上の点に留意したうえで、4.4で用いたのと同様の形式の試料床および試料床加振装置（図-4.1，写真-4.1に示す）を用い、表-4.5の”検査試料の概要”の覧に示すごとく12種類の試料床と9種類の試料床加振装置の加振条件の組合せからなる計29種類の検査試料を設定した。このうちN0.25～29の検査試料では、厚さ42mmのクッション材を試料床上または椅子上に敷くこととした。

表-4.5の”床振動測定装置による物理量測定結果”の覧に、4.5.1に示した床振動測定装置を用いて測定した各検査試料の D_{max} ， T_m ， V_m ， T_h ，

表-4.5 振動評価に関する官能検査の検査試料の概要
および床振動測定装置による物理量測定結果

検査試料 NO	検査試料の概要					床振動測定装置による物理量測定結果				
	試料床			加振条件						
	W	k	f	k'	σ	D _{max}	T _m	V _m	T _h	V I (2)
1	40	32.6	9.68	833.3	5	0.0551	0.040	1.3775	0.352	-0.637
2	40	260.0	20.62	32.6	30	0.0403	0.072	0.5597	0.303	-0.925
3				32.6	60	0.0720	0.150	0.4800	0.393	-0.794
4	120	32.6	5.58	833.3	10	0.1614	0.066	2.4455	0.546	-0.227
5				12.0	10	0.1284	0.098	1.3102	0.475	-0.443
6	120	260.0	14.00	833.3	30	0.0504	0.033	1.5273	0.502	-0.465
7				32.6	30	0.0369	0.105	0.3514	0.385	-0.928
8	120	833.3	22.65	833.3	10	0.0048	0.020	0.2415	0.142	-1.622
9				833.3	60	0.0212	0.057	0.3719	0.431	-0.915
10	310	(32.6)	7.53	12.0	10	0.0235	0.082	0.2866	0.082	-1.683
11				833.3	30	0.0739	0.061	1.2115	0.617	-0.396
12				32.6	30	0.0574	0.083	0.6916	0.305	-0.847
13	310	260.0	9.29	12.0	30	0.0373	0.153	0.2438	0.153	-1.407
14				833.3	60	0.1072	0.055	1.9491	1.229	0.042
15				32.6	60	0.0675	0.144	0.4688	0.694	-0.559
16	310	120.8	6.69	32.6	30	0.0948	0.087	1.0897	0.708	-0.355
17	310	833.3	14.37	32.6	30	0.0129	0.101	0.1277	0.463	-1.160
18				32.6	60	0.0213	0.148	0.1439	0.474	-1.079
19	310	(333.3)	15.34	12.0	50	0.0159	0.241	0.0660	0.241	-1.569
20				833.3	60	0.0217	0.045	0.4822	0.300	-1.016
21				32.6	30	0.0117	0.093	0.1258	0.270	-1.405
22	760	833.3	10.25	833.3	30	0.0172	0.052	0.3308	1.136	-0.529
23	760	260.0	5.93	12.0	50	0.0609	0.236	0.2581	0.437	-0.898
24				32.6	30	0.0518	0.104	0.4981	0.998	-0.410
25	310	(32.6)	7.53	833.3	30	0.0247	0.053	0.4660	0.848	-0.560
26	310	260.0	9.29	12.0	30	0.0144	0.155	0.0929	0.155	-1.694
27				32.6	60	0.0734	0.104	0.7058	0.778	-0.412
28	310	(333.3)	15.34	833.3	60	0.0105	0.050	0.2100	0.320	-1.229
29	760	833.3	10.25	833.3	30	0.0075	0.049	0.1524	0.861	-0.898

[NO] : クッション材 (厚さ42mm) を使用した検査試料
W : 試料床のパネル重量(kg)
k : 試料床のコイルスプリングの剛性(kgf/cm)
(k) : ウレタンでラップしたコイルスプリングを使用
f : 試料床の固有振動数(Hz)
k' : 試料床加振装置の加振用スプリングの剛性(kgf/cm)
 σ : 試料床加振装置の加振用スプリングの圧縮量×k' (kgf)
D_{max} : 最大変形量(cm)
T_m : 変形時間(sec)
V_m : 変形速度(cm/sec)
T_h : 減衰時間(sec)

V I (2)の値を一覧にして示す。なお本検査では1回の加振により発生する床振動を判断の対象とすることとし、各検査員にはこの振動をときどき（断続的に）またはたえず（連続的に）感じたとした場合を想定したうえでの判断を求めることとした。

4.6.1.4 検査員の選定

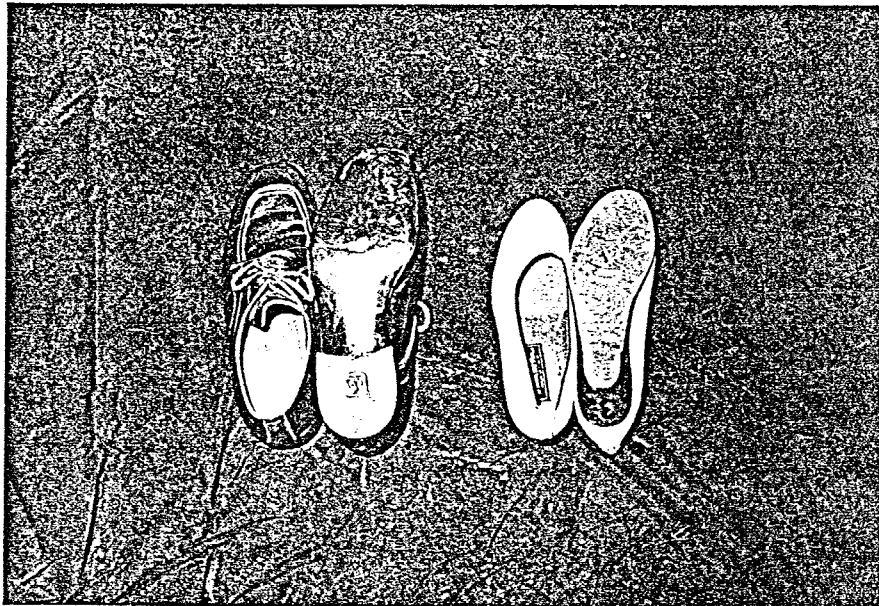
検査員として成人男子10名（21～30歳）および成人女子10名（21～24歳）計20名を選定した。ここで検査員の年齢の範囲が比較的狭いのは、3.6.2において、振動の評価判断における年齢による差は非常に小さいことを、考察していることによる。

4.6.1.5 姿勢、履物の選定

姿勢として、立位、椅子腰掛位、座位の3つを選定した。姿勢の形態および各々の姿勢で判断の対象とする振動は、4.4.1.5で述べたとおりである。なお検査に供する椅子は4.4で用いたのと同じのばねやクッション材などが取り付けられていないものとしたが、4.6.1.3で述べたとおりNO.25～29の検査試料では椅子上に厚さ42mmのクッション材を敷くこととした。

また本検査では、3.7.1で得られた知見から履物のやわらかさは床振動の評価にほとんど影響しないものと想定されたことから、住居の居室において一般的な薄手のくつ下と、事務所・学校・病院等で一般的に用いられている硬底紳士靴、中ヒールの3つを、各々の用途の床における代表的な履物として選定した。写真－4.5に選定した硬底紳士靴、中ヒールを示す。

なお本検査で選定しなかった姿勢、履物、履物と床用途の組合せでの床振動の評価については、本検査結果に基づいて検討を加えることとした。



写真－4.5 振動評価に関する官能検査に用いた硬底紳士靴，中ヒール

4.6.2 官能検査経過、結果および振動評価尺度の構成

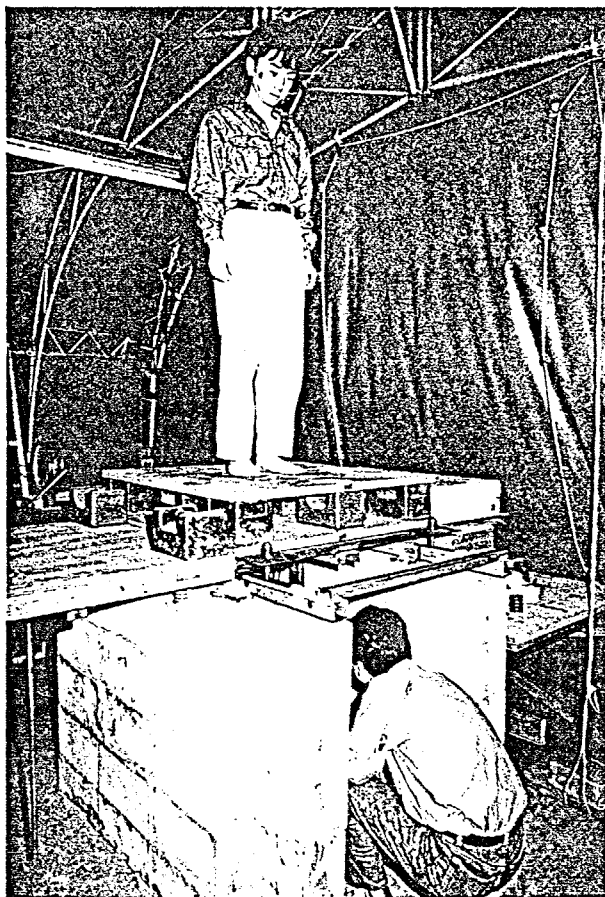
4.6.1で述べた条件のほかに、床の鉛直方向の振動以外の要因は判断にいないこと、疲れたら自由に休めることなどを条件に検査を実施し、基礎データを得た。官能検査状況を写真-4.6に示す。なお検査期間中、各試料床の自由振動を適宜測定し、振動性状が一定に保たれていることを確認した。

図-4.8に官能検査の分散分析結果を示す。すべてにおいて検査試料の刺激の差の効果を表す主効果の分散比が高度に有意であり、かつ寄与率も大きいことから、設定した検査試料群が床振動の評価の観点からみて十分差異のある刺激を検査員に与えていたこと、さらに検査手法も含め本検査自体が有効であることがわかる。

一方個人差もいずれも高度に有意となっており、個人差が存在していることが明確である。特に中ヒール履きの立位、椅子腰掛位での尺度D、尺度Rおよび硬底紳士靴履きの椅子腰掛位での尺度Rにおいて、個人差がより大きくなっている。

しかしながら前述したように、個人差がおもに試料の設定、検査手法のために生じているものではないといえること、3.6.2においても同様の傾向が見受けられることから、得られた個人差は検査員間に本来内在しているものとみなしてよいと考える。

以上、構成される尺度の有意性を確認したうえで、官能検査で求めた基礎データを用い尺度構成理論^{21), 22)}にしたがって振動評価尺度を構成した(尺度の概要は以降に図示することとし、詳細は省略する)。なお男女に共通するくつ下の場合に関しては、参考のため男女別の尺度も構成したが、結果に有意な差はみられず、3.6.2で述べた振動発生者と受振者が同じ場合と同様、振動発生者と受振者が異なる場合にも床振動の評価に性の要因は大きく影響しないことが判明した(男女別の尺度の構成結果は省略する)。



写真－4.6 振動評価に関する官能検査状況

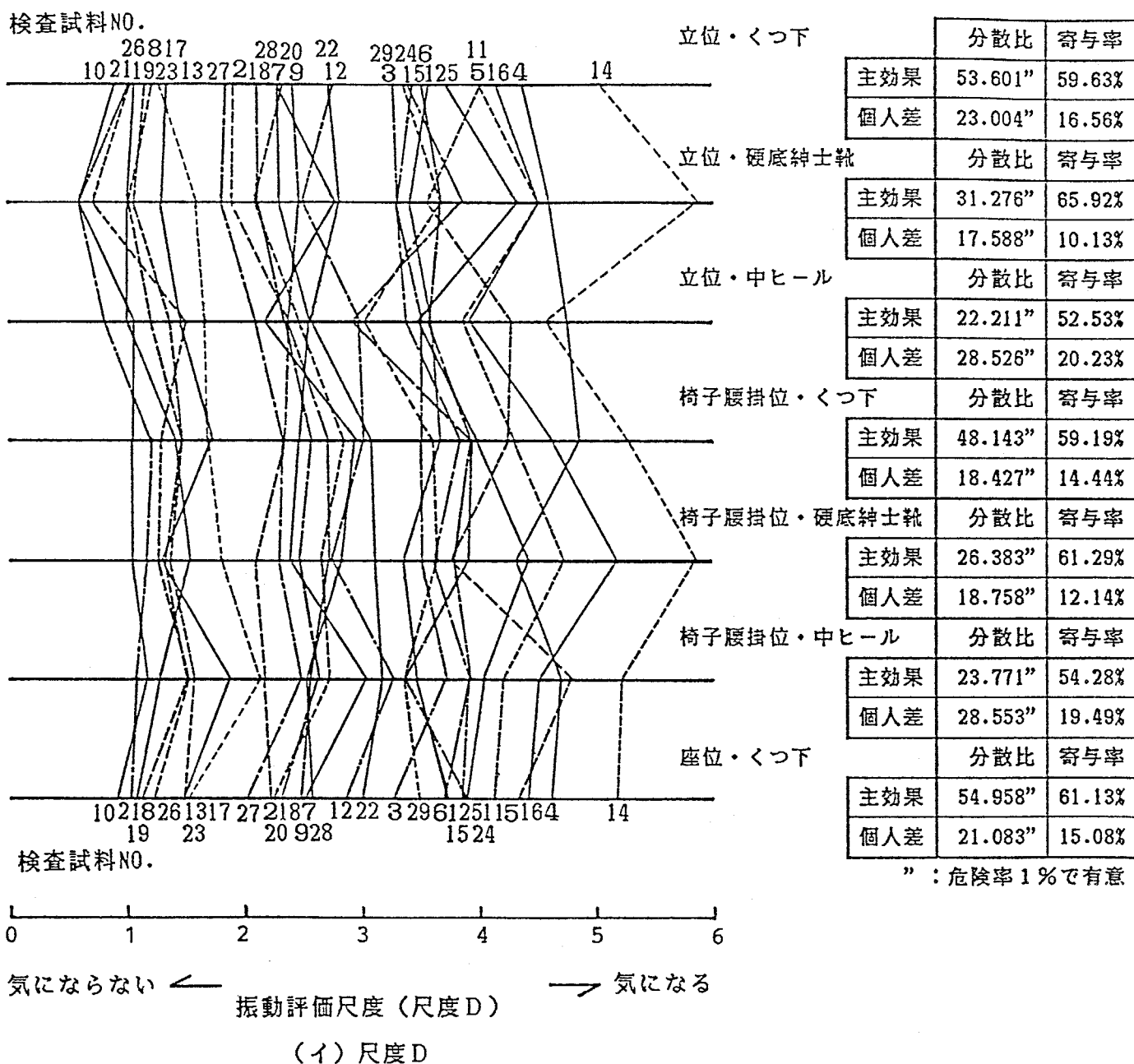


図-4.8 振動評価尺度線図と分散分析結果

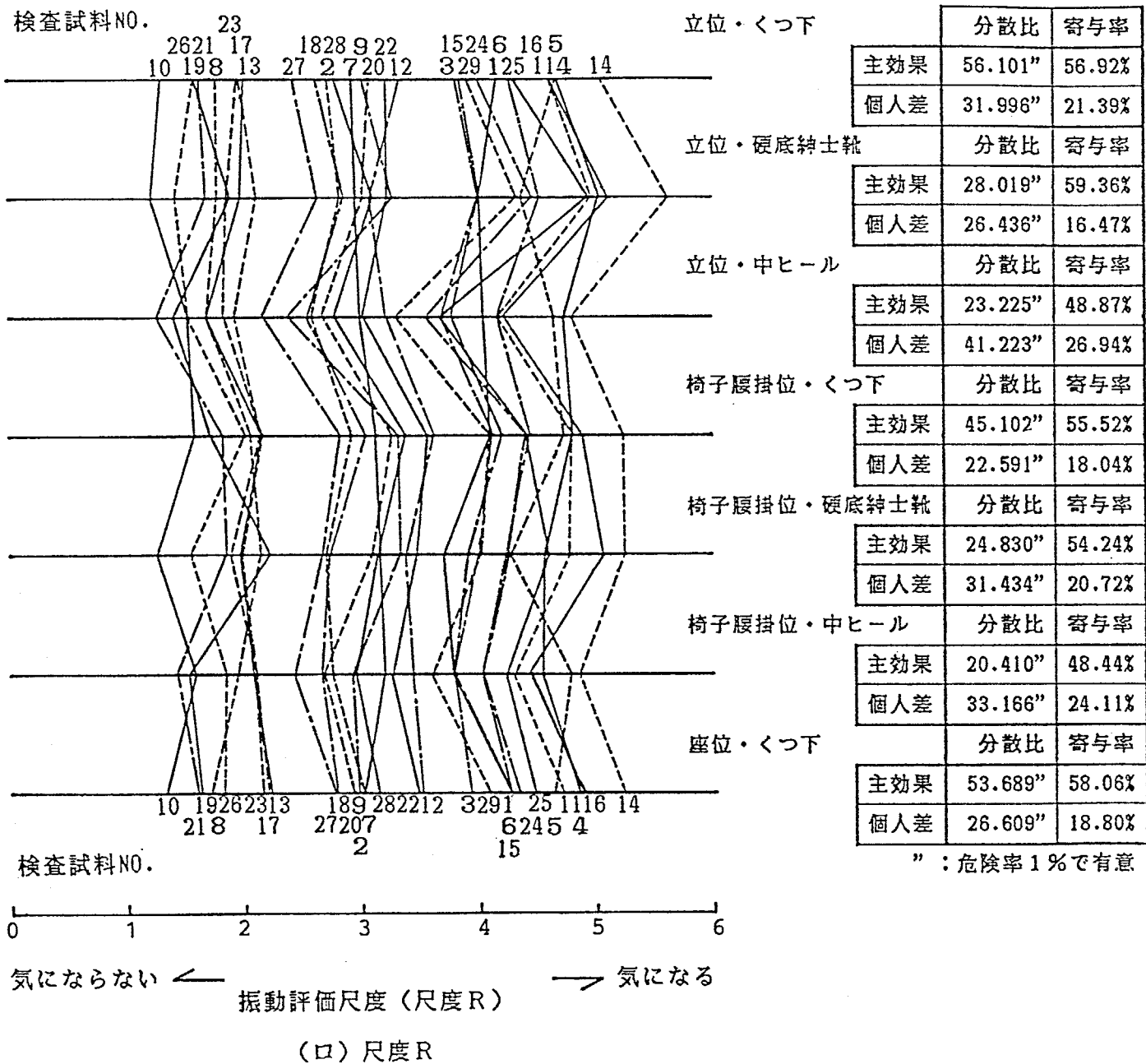


図-4.8 振動評価尺度線図と分散分析結果

4.6.3 考察

図－4.8に構成した振動評価尺度を尺度線上に示す。図中の折れ線は、各検査試料ごとの尺度値を結んだものである。また表－4.6に振動評価尺度相互の相関係数を示す。

図－4.8、表－4.6から以下のことが考察できる。

- ・各尺度上における検査試料の尺度値の想定的序列に大きな差はなく、尺度の種類、姿勢、履物および履物と床用途の組合せのちがいによる有意な序列の変化はみられない。さらに4.6.1.5で選定した姿勢、履物は、本章で対象とする床における代表的な受振姿勢、履物とみなせることから、類似した他の姿勢、履物および履物と床用途の組合せでも、床振動に対する評価の序列は本検査結果と大きく異ならないものと推察できる。
- ・いずれの姿勢、履物でも尺度Dと尺度Rの相関が非常に高いことから、床振動に対する評価の相対的序列は、床振動を感じる頻度のちがいにより、ほとんど変化しないと想定されていることがわかる。
- ・尺度の広がりはいずれもほぼ同程度であり、3.6.3でみられたような、受振姿勢の差異による尺度の広がり of 顕著な差はみられない。これはいずれの姿勢でも床振動を静止状態で受振するため、床振動の差の感じやすさにほとんど差がなかったためと考えられる。

なお4.6.1.4で述べた理由から、年齢がより広範囲に分布するよう検査員を選定した場合にも、構成される尺度は本検査結果とほぼ同一になることが、想定できる。

4.7 床振動の評価指標の提示

4.7.1 振動評価尺度と物理量との対応

表 - 4. 6 振動評価尺度の相関表

尺度Dと尺度Rの相関

姿勢	立位			椅子腰掛位			座位
履物	くつ下	硬底靴	中ヒ	くつ下	硬底靴	中ヒ	くつ下
相関係数	0.993"	0.989"	0.987"	0.994"	0.985"	0.983"	0.994"

尺度D相互の相関

姿勢		立位			椅子腰掛位		
	履物	くつ下	硬底靴	中ヒ	くつ下	硬底靴	中ヒ
座位	くつ下	0.996"	0.978"	0.975"	0.993"	0.970"	0.981"
椅子腰掛位	中ヒ	0.981"	0.958"	0.984"	0.977"	0.954"	
	硬底靴	0.974"	0.988"	0.931"	0.983"		
	くつ下	0.994"	0.983"	0.967"			

尺度R相互の相

尺度R相互の相関

立位	中ヒ	0.977"	0.943"		0.985"	硬底靴	立位
	硬底靴	0.982"		0.955"	0.982"	中ヒ	
			0.976"	0.984"	0.993"	くつ下	椅子腰掛位
		0.983"	0.947"	0.991"	0.980"	硬底靴	
	0.966"	0.988"	0.985"	0.968"	0.988"	中ヒ	
0.987"	0.977"	0.993"	0.978"	0.984"	0.993"	くつ下	座位
中ヒ	硬底靴	くつ下	中ヒ	硬底靴	くつ下	履物	
椅子腰掛位			立位			姿勢	

硬底靴：硬底紳士靴 中ヒ：中ヒール "：危険率1%で有意

図－4.9に、4.6.2で構成した振動評価尺度と4.5.3で設定した物理量 $V I (2)$ との関係を示す。図の①～⑦の破線は、表－4.4に示した各範ちゅうの位置を示している。

いずれの図でも両者はおおむねなめらかに対応しており、図中点線で示したごとく対応の中心傾向を示す曲線を描くことができる。このことから、振動発生者と受振者が異なる場合の床振動を、 $V I (2)$ により定量的に評価できることがわかる。なおクッション材を用いたN0.25～29の検査試料の点も、他の検査試料と同様なめらかに対応していることから、緩衝性の高い仕上げ材を用いた床や、クッション材の取り付けである椅子に腰掛けた状態で感じる床振動の評価などにも、 $V I (2)$ を適用できることが確認できたといえる。

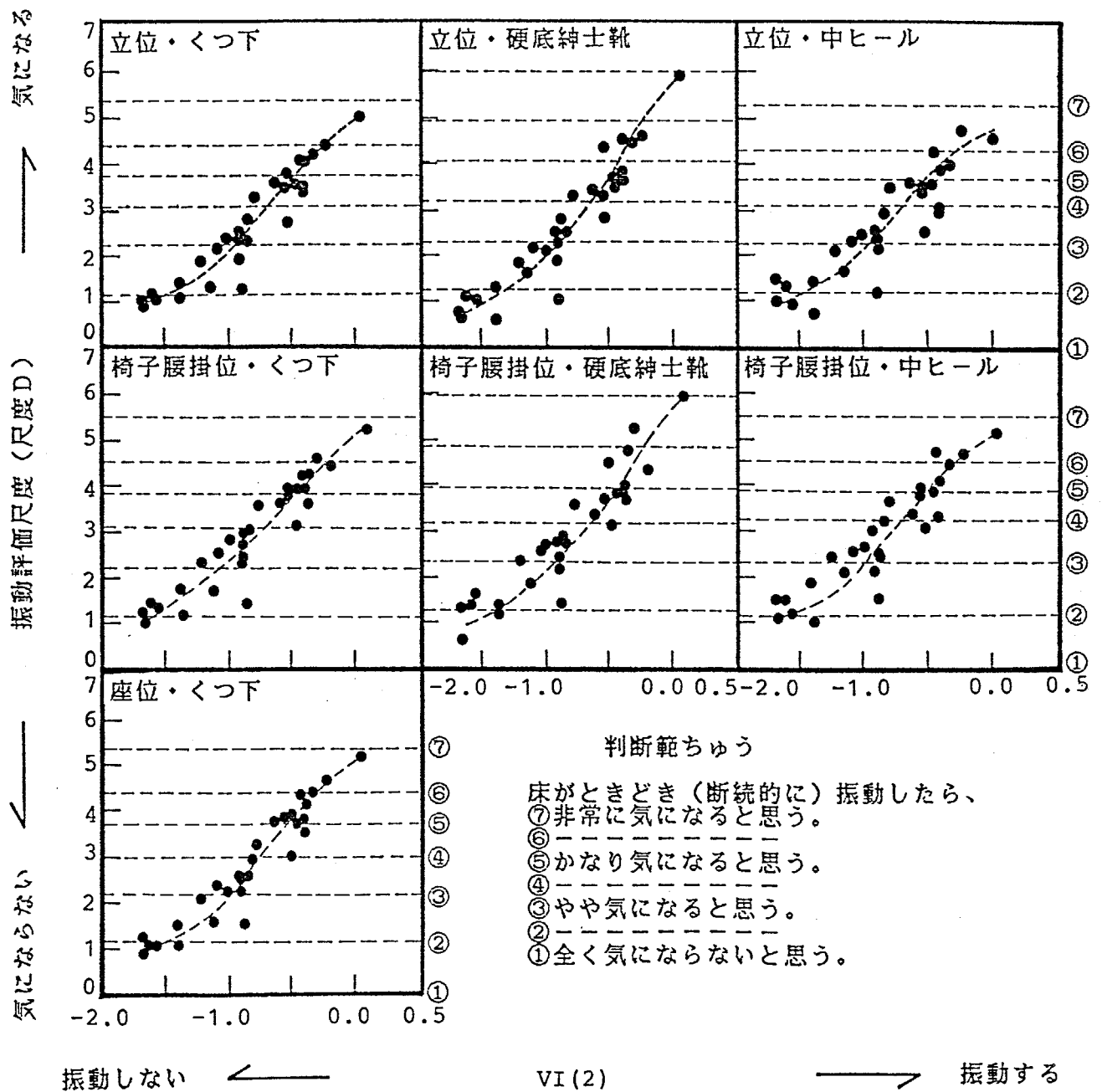
さらに図－4.9から、以下のことがいえる。

- ・ いずれの図でも両者の対応曲線に床振動の最適値などは表れておらず、より振動しない床ほど評価が高くなっている。このことは3.7.1で述べた、振動発生者と受振者が同じ場合に得られた知見と一致する。

- ・ 姿勢、履物が同一の場合、 $V I (2)$ と尺度D、尺度Rの2つの振動評価尺度との対応を比較すると、いずれも尺度Rの方が同じ $V I (2)$ に対して評価が低くなっている。すなわちたえず（連続的に）振動を感じたとした場合の評価は、ときどき（断続的に）振動を感じたとした場合の評価より、おおむね1範ちゅう低下する傾向がみられる。また床振動を感じる頻度が4.6で想定したふたつの頻度の間の場合の評価も、図から類推可能と考えられる。

- ・ $V I (2)$ と振動評価尺度との対応に、3.7.1でみられたような、受振姿勢による差異はみられない。これは、いずれの姿勢でも静止状態で受振するため、振動の感じやすさにほとんど差がないためと考えられる。

- ・ 尺度の種類および姿勢が同じであれば、履物のちがいによる振動評価尺度と $V I (2)$ との対応に明確な差異はみられないことから、4.6.1.5で想定したとお



(イ) 尺度D

図-4.9 VI(2)と振動評価尺度との関係

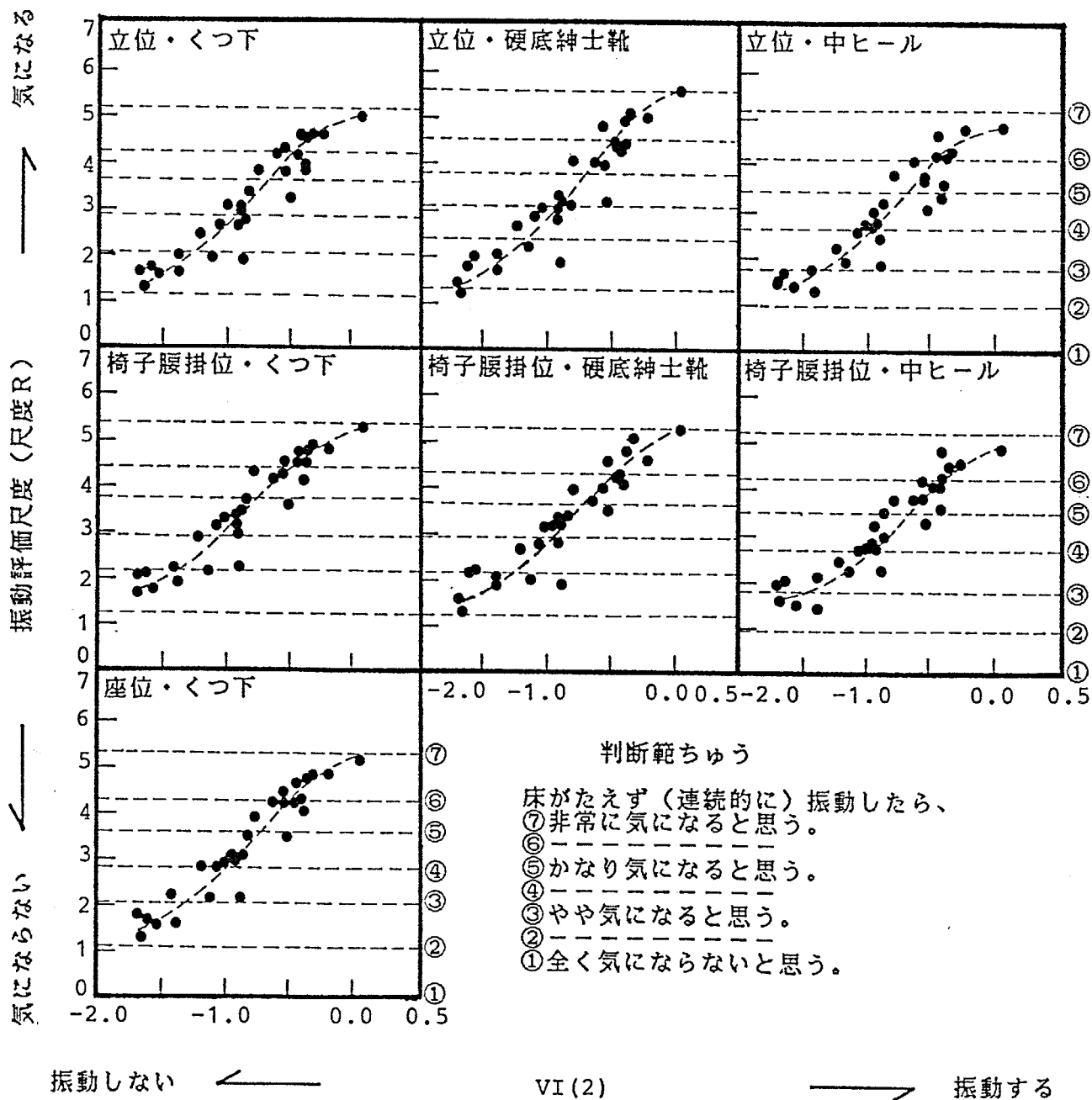


図-4.9 VI(2)と振動評価尺度との関係

り、履物のやわらかさは床振動の評価にほとんど影響しないことが、確認できたといえる。また立位・中ヒールの場合も静止状態で受振するため、3.7.1で述べた歩行・中ヒールの場合にみられたような、履物の形状による不安定さの影響により同じV I (2)に対して評価が低くなる傾向は、ほとんど表れていない。

・上述した種々の知見から、4.6.1.5で選定しなかった姿勢、履物および履物と床用途の組合せでの床振動の評価も、本検査結果と大きく異なることはないと思定できるものとする。

4.7.2 床振動の評価指標の提示

図-4.9から、仮に範ちゅう③，④，⑤を許容基準とした場合の許容範囲（例）を求め、図-4.10に一覧にした。図-4.10の許容範囲は範ちゅう③，④，⑤の3段階があるが、実際には状況に応じて許容範囲を3段階の中から選定することが必要となる。

以上から図-4.9を床振動の評価指標の基本として、また図-4.10を床振動の評価指標として提示する。なお提示した評価指標の性格についての留意点は、3.7.2で述べたとおりである。

4.8 床振動の評価方法の提示

4.8.1 床振動の評価における加振力に関する検討

前項までに得られた種々の知見から、振動発生者と受振者が異なる場合の床振動の評価方法の骨子を、以下のように提示する。

- 1) 床振動測定装置を用いて対象とする床の挙動を測定し、物理量V I (2)を求める。
- 2) 求めたV I (2)を4.7.2で提示した床振動の評価指標に照合し、対象とする

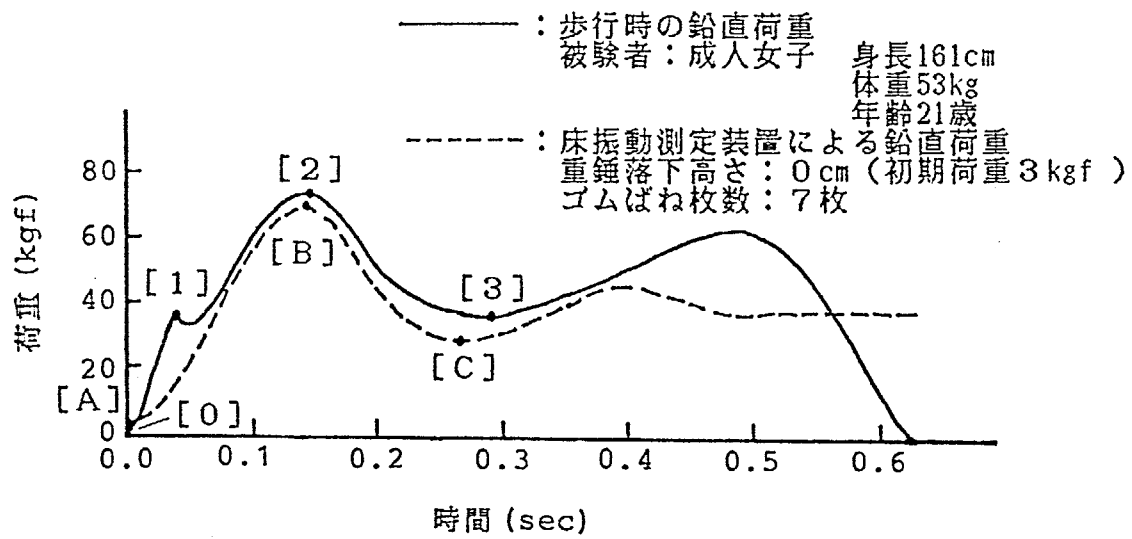
床を評価する。

ここで1)で対象とする床の挙動は、実際の使用時に人間の動作により生じる床の挙動とするのが基本的な方法と考えられるが、人間の動作時の加振力には個人差、場合差が大きいことから、床振動を評価するための加振力として典型的でかつ再現性のある加振力を、その加振方法とともに設定する必要があるといえる。

図-4.11に吉岡、小野らが求めた歩行者が床に与える鉛直荷重の時間変化と²⁾、基礎的研究⁵⁰⁾において同様の方法で求めた人間がかけ足時に床に与える鉛直荷重のうち、できるだけ速くかけ足した場合の鉛直荷重の時間変化の代表例を、実線で示す。図中、荷重の立ち上がり直後に表れている小さなピーク〔1〕は、動作や履物の種類により生じる場合と生じない場合があるが、他の部分の荷重の性状は、体重、動作速度ごとにほぼ一定の値が得られている。なおこの結果は類似する既往の研究結果^{9), 25), 26)}と異なるものではない。

また4.5.1で述べた床振動測定装置(図-3.5, 写真-3.4に示す)の落下重錘(重量40kg)とゴムばねからなる荷重体が床に与える鉛直荷重の時間変化を、図-4.11に点線で示す。なお荷重体の重錘落下高さ、ゴムばね枚数は図に示すとおりである。これらはともに、図中の〔A〕～〔C〕の部分の荷重性状が、動作時の鉛直荷重のうち床を加振するという観点から主要と思われる〔0〕～〔3〕の部分とできるだけ近似するよう設定したものであり、このうち歩行時の鉛直荷重とともに示した重錘落下高さ、ゴムばね枚数は、3.5で述べたV I (1)の測定におけるそれと同一である。

図の実線と点線を比較すると、特にピーク〔2〕, 〔B〕における荷重と、荷重がピーク〔2〕, 〔B〕に達するまでに要する時間が、非常に近似していることがわかる。このことから本章では床振動測定装置を加振器としても用いることとし、図-4.11に点線で示す鉛直荷重を、加振器の荷重体の重錘落下高



(イ) 歩行

図 - 4.11 人間が床に与える鉛直荷重の時間変化
 の代表例と床振動測定装置の鉛直荷重

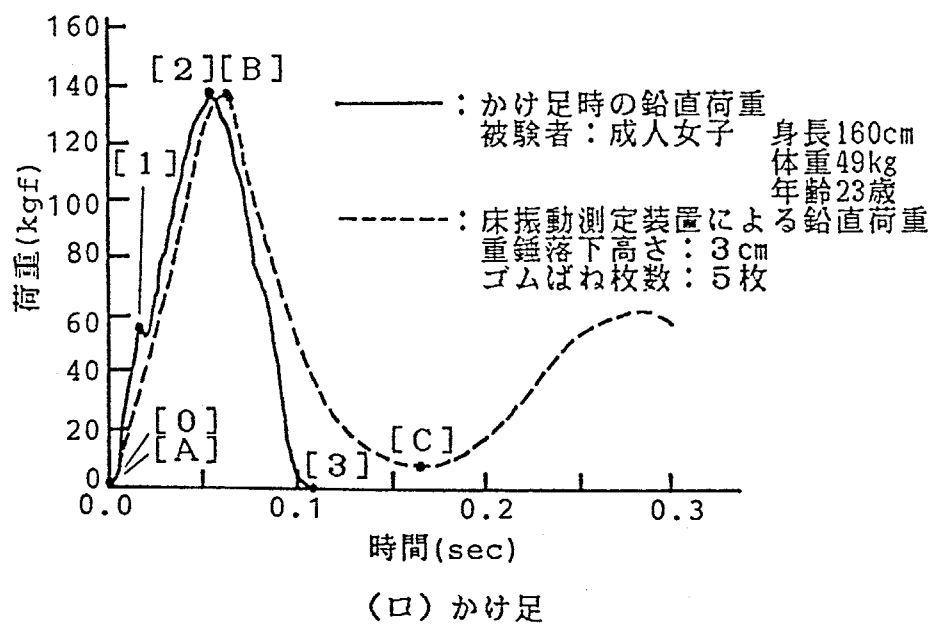


図-4.11 人間が床に与える鉛直荷重の時間変化の代表例と床振動測定装置の鉛直荷重

さ、ゴムばね枚数などとともに、床振動の評価における加振力および加振方法として設定することとした。

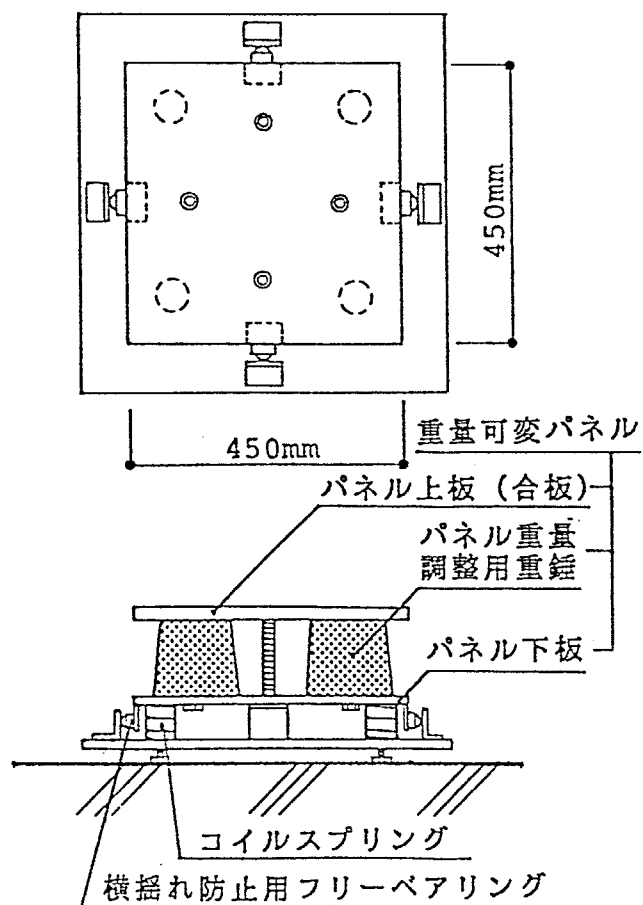
ここで加振力を、歩行時とできるだけ速いかけ足時の鉛直荷重としたのは、本章で対象とする床の範囲では、歩行時の加振力は日常において最も一般的な加振力、できるだけ速いかけ足時の加振力は日常において最も大きな加振力と、考えられたことによる。また設定した加振力は、1人の動作時の加振力を置換したものであるが、複数人が動作する場合、各人の人体が互いに他の動作により発生する振動の減衰を早める方向に作用することも考えられるので、必ずしも1人の動作による場合より大きな振動が発生するとは限らないと想定できることから、床振動を評価するための加振力の典型的な例として、特に不都合はないものとする。

ちなみに図-4.12に示す2種類の試料床を用いて、上述の加振方法で加振した場合と、被験者が歩行およびできるだけ速くかけ足した場合の試料床の挙動を測定した結果を、図-4.13に示す。実験に用いた試料床は、3.4および3.6で用いたのと同様の形式のものである。動作はいずれも試料床と同一の高さに設定した補助床から試料床上中央部に一歩着地して通り抜ける形態とした。また試料床の挙動は、パネル下面に取り付けた変位変換器と加速度計で測定した。なお2名の被験者の概要および履物は、図-4.13に示すとおりである。

図から、限られた試料床、被験者、履物ではあるが、床振動測定装置で加振したときの試料床の最大変形量、変形時間、振動の減衰時間は、いずれも被験者の動作時のそのほぼ中庸となっていることが確認できたといえる。

図-4.14に設定した加振方法を用いて実大床(3600×4500mm)の挙動を測定した結果の一例を示すとともに、写真-4.7にその測定状況を示す。ただし図の加速度・時間曲線は、実大床の固有振動数に近い成分を抽出したものである。

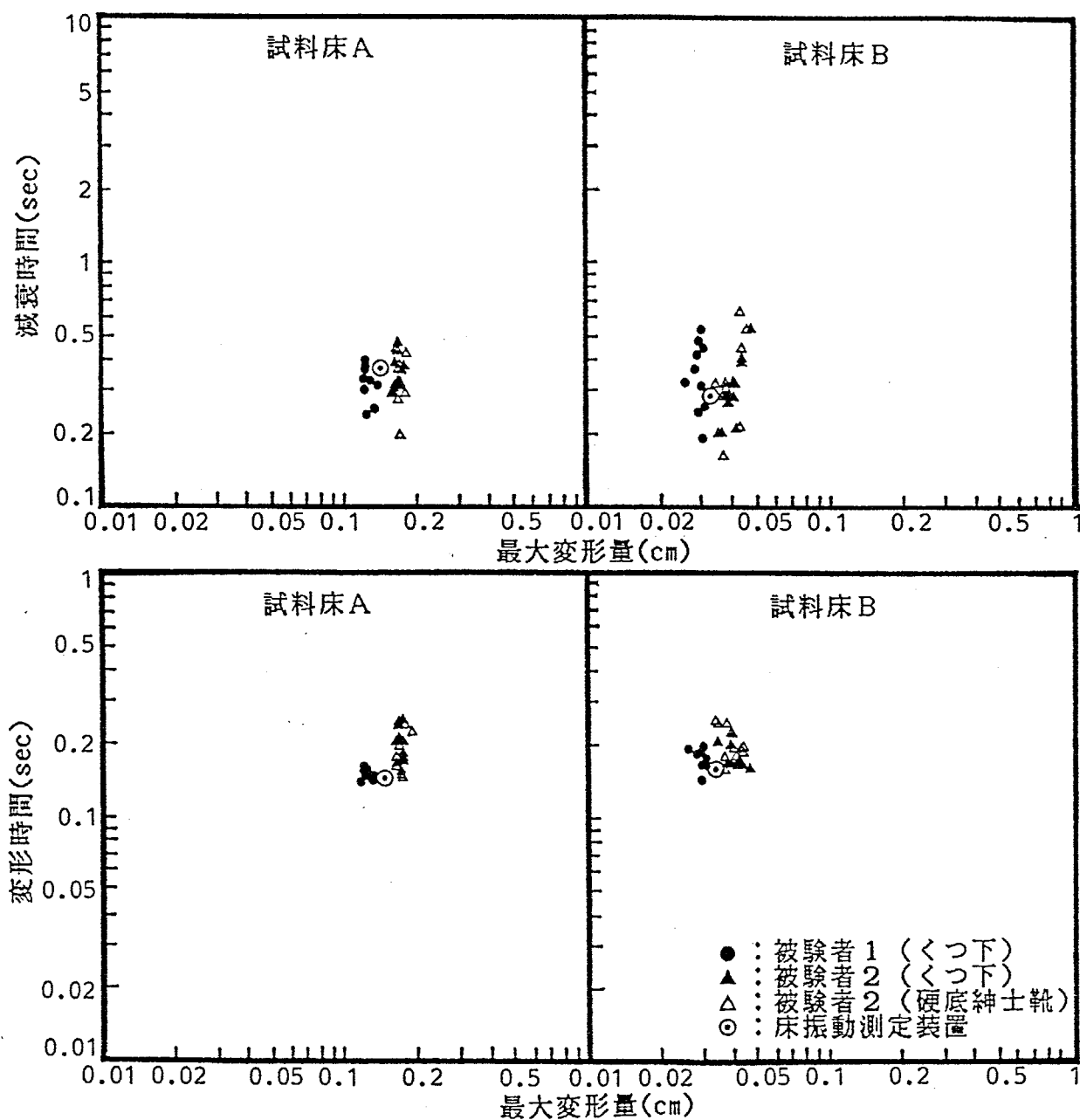
図-4.14(イ)から、落下後の重錘がゴムばね上で弾み、重錘の落下により発



	W	k	f
試料床A	100	(32.6)	11.71
試料床B	100	833.3	21.23

W : 試料床のパネル重量(kg)
 k : コイルスプリングの剛性(kgf/cm)
 (k) : ウレタンでラップした
 コイルスプリングを使用
 f : 固有振動数(Hz)

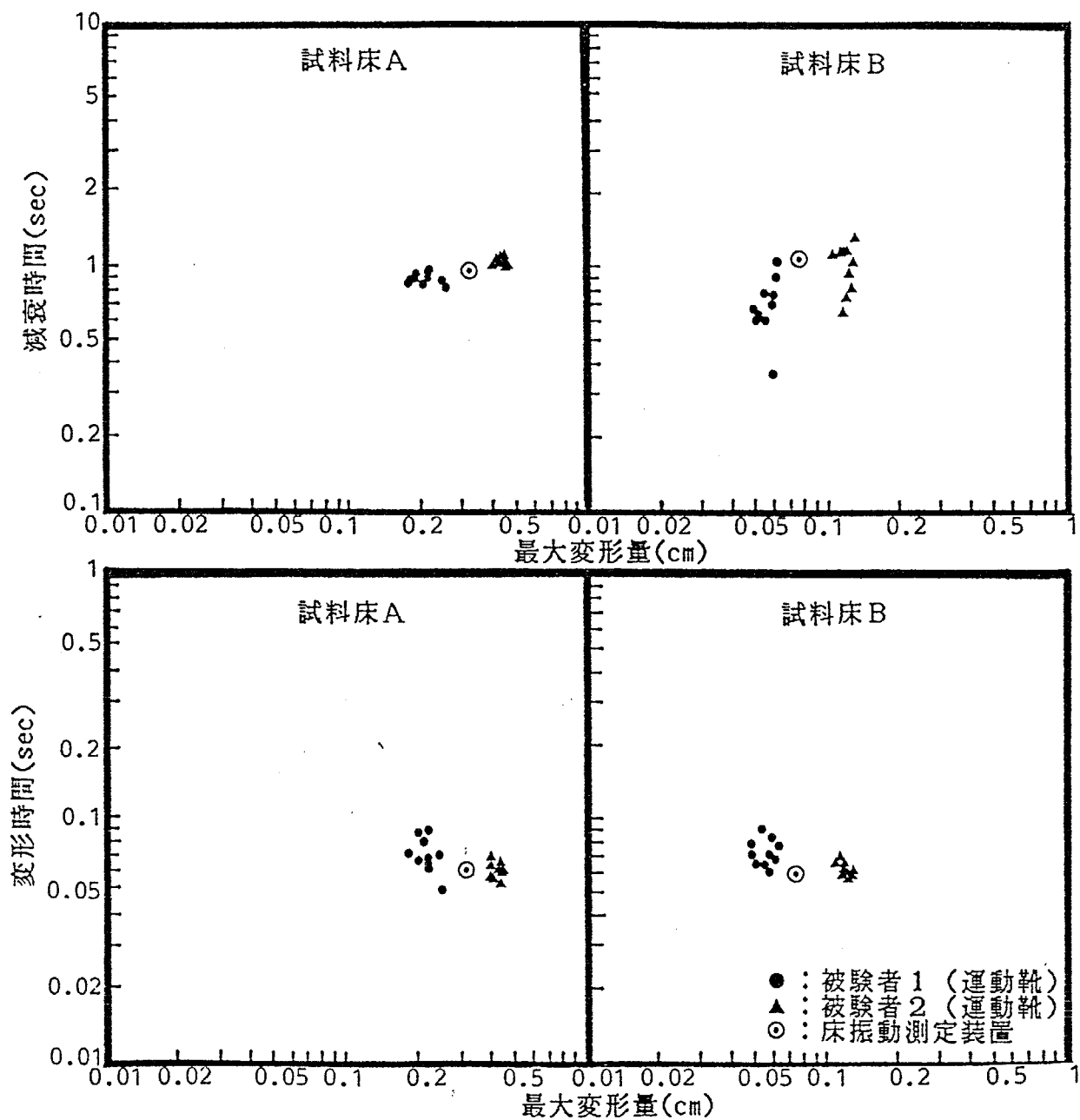
図 - 4.12 試料床の概要



被験者 1 : 成人女子 (身長160cm , 体重49kg , 年齢23歳)
 被験者 2 : 成人男子 (身長166cm , 体重62kg , 年齢24歳)

(イ) 歩行

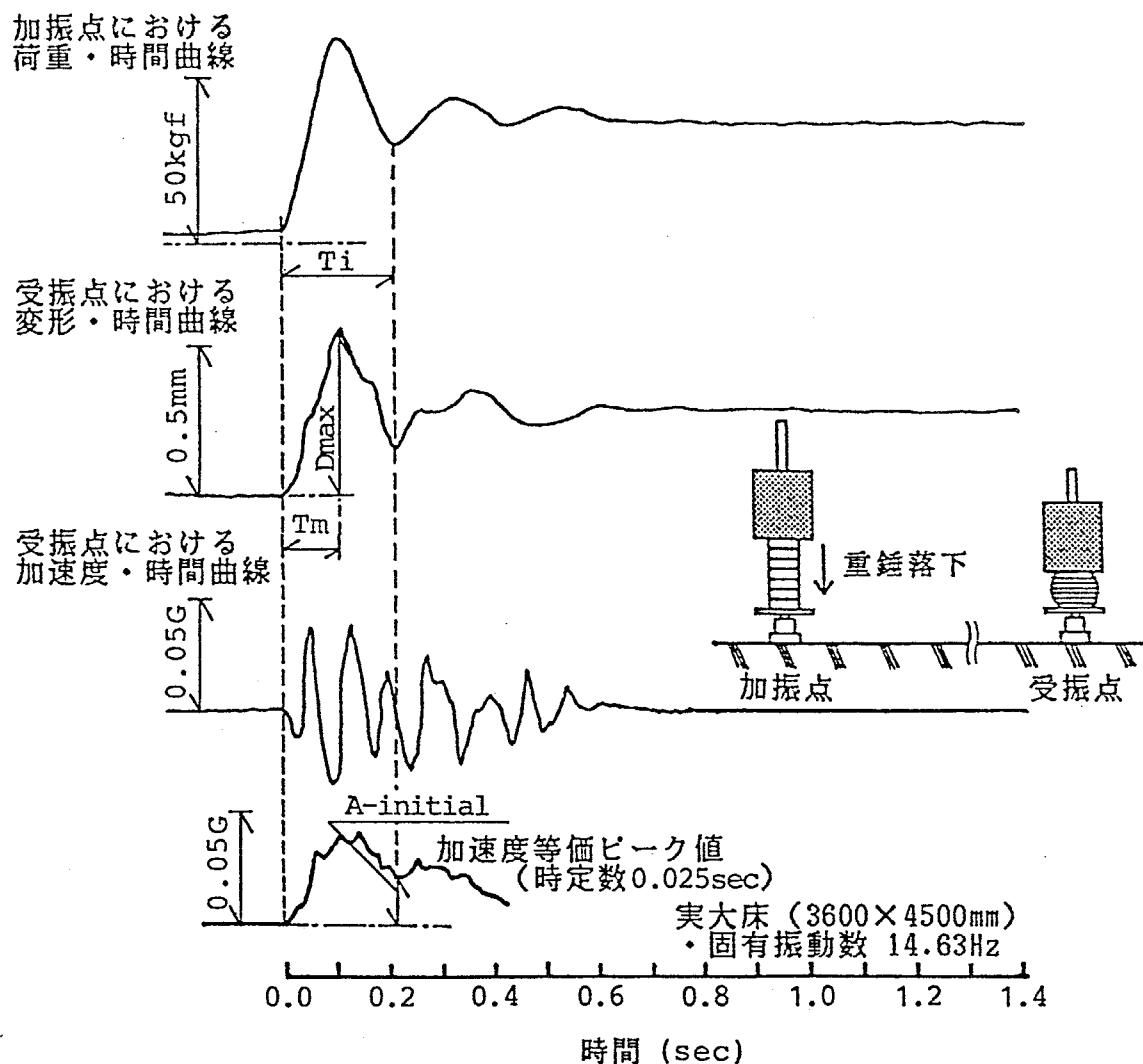
図 - 4.13 人間の動作時と床振動測定装置による
 加振時との試料床の挙動の関係



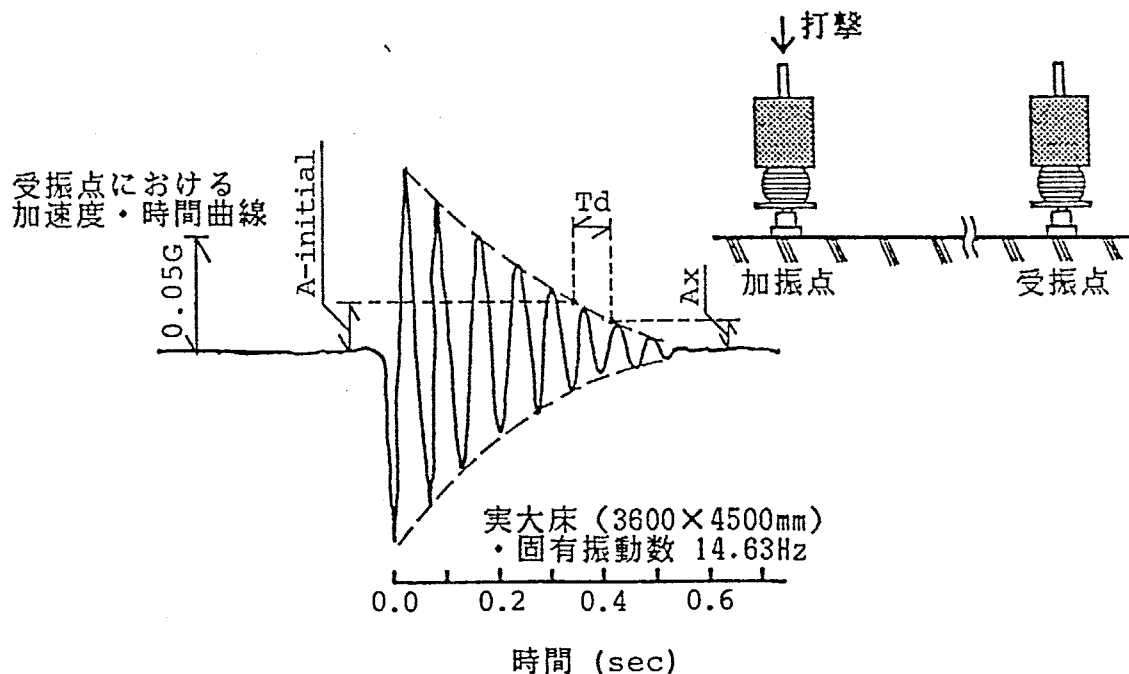
被験者1：成人女子（身長160cm，体重49kg，年齢23歳）
 被験者2：成人男子（身長166cm，体重62kg，年齢24歳）

（口）かけ足

図－4.13 人間の動作時と床振動測定装置による
加振時との試料床の挙動の関係



(イ) 重錘落下時の挙動の測定結果の一例



(ク) 減衰振動の測定結果の一例

図-4.14 床振動測定装置による実大床の挙動の測定結果の一例

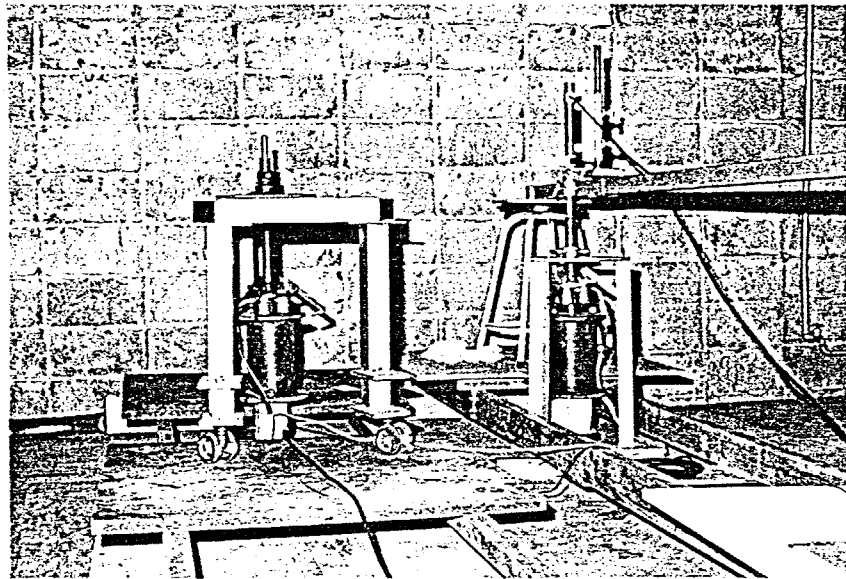


写真-4.7 実大床の物理量測定状況

生した振動の減衰時間 (T_h) を正確に把握できないことがわかる。したがって本章では以下に述べる方法で減衰時間 (T_h) を算出することとした。

1) 重錘の落下により加振点に与えられる動的な荷重が最大に達した後、荷重が最小になる時点（この時点までの荷重は再現性がある）での受振点の振動の加速度等価ピーク値（時定数0.025sec）を $A_{-initial}$ として求める。さらに変形の立ち上がり時点から、荷重が最小になる時点までの時間を T_i として求める（図-4.14（イ）参照）。

2) 加振器の重錘をゴムばね上に置いた状態で、加振器のシャフト頂部を打撃することにより発生する受振点の減衰振動を測定し、振幅が1)で求めた $A_{-initial}$ から4.5.3で設定した所定のレベル (A_x)（20dB (VAL)）まで減衰するのに要する時間を T_d として求める（図-4.14（ロ）参照）。ただしかけ足の場合は、動作の形態上、動的な荷重の作用後は加振点における振動発生者の人体の影響を考慮する必要はないと考えられることから、加振点を直接打撃することとする。

3) $T_i + T_d$ を減衰時間 (T_h) として算出する。

すなわち、加振器の重錘落下後、加振点に作用する荷重が最小になる時点までの受振点の床振動に、加振器のシャフト頂部を打撃（かけ足の場合は加振点を直接打撃）して求めた受振点の減衰振動をつなぎ合わせることで、減衰時間 (T_h) を求める方法となる。この方法は、3.5.2で述べたV I (1)の測定における減衰時間 (T_h) の算出方法と、本質的に異なるものではない。

4.8.2 床振動の評価方法の提示

居住性からみた人間の動作により発生する床振動の評価方法のうち、振動発生者と受振者が異なる場合の評価方法および手続きを以下のように提示する。

1) 床振動測定装置を用いて、所定の方法で加振点を加振したときの受振点の

挙動を測定し、 $V I(2)$ を求める。

2) 求めた $V I(2)$ を 4.7.2 で提示した評価指標に照合し、対象とする床を評価する。

なお本評価方法を適用できる範囲は、4.6 で用いた検査試料の範囲から、

$$V I(2) = -1.7 \sim 0.1$$

$$D_{\max} : 0.004 \sim 0.16 \text{ (cm)}$$

$$T_m : 0.02 \sim 0.25 \text{ (sec)}$$

$$V_m : 0.06 \sim 2.6 \text{ (cm/sec)}$$

$$T_h : 0.08 \sim 1.2 \text{ (sec)}$$

$$\text{振動数: } 5 \sim 25 \text{ (Hz)}$$

とするが、4.6.1.3 で述べた検査試料の設定条件から、日常的な動作により発生する床振動のうち、居住性の観点から問題となると思われる範囲は十分包含されているといえる。

以上であるが、1) における加振点および受振点は、床の構造、実際の使用時の動作位置および受振位置とその頻度、加振点と受振点の位置関係などを考慮したうえで、いくつかの点を代表点として選定するのが、現段階では基本的な方法となる。また 2) でいずれの評価指標を用いるかは、対象とする床の用途、使用状況、振動の発生頻度などに応じて適宜選択する必要がある。

4.9 本章の結論

本章の結論は以下のとおりである。

1) 人間の動作により発生する床振動を、動作する人とは異なる人が種々の姿勢で感じる場合の感覚上の序列を表す振動感覚尺度を官能検査手法により構成するとともに、尺度相互の相関から床振動の測定方法確立のための有効な知見を得た。

- 2) 1)で得られた知見から第3章で開発した床振動測定装置を受振器として準用し、実情に即した条件下での床の挙動を測定するとともに、種々の観点から受振器の妥当性を確認した。
- 3) 受振器で測定される床の最大変形量，変形速度および床振動の減衰時間を基本として、1)で構成した振動感覚尺度と対応する物理量 $V I (2)$ を設定した。
- 4) 官能検査手法を用い、具体的に様々な状況を想定したうえでの床振動に対する評価判断を求め、床振動の気になり具合を定量的に表す振動評価尺度を構成した。
- 5) $V I (2)$ と4)で構成した振動評価尺度との関係を検討し、床の用途，使用状況，振動の発生頻度などに応じた床振動の評価指標を提示した。
- 6) 人間が歩行時およびかけ足時に床に与える鉛直荷重を基礎資料として、床振動を評価するための加振力として典型的でかつ再現性のある加振力を、その加振方法とともに設定し、5)で提示した床振動の評価指標とあわせて、振動発生者と受振者が異なる場合の床振動の評価方法として提示した。

第 5 章 結 論

床のかたさおよび振動測定装置で測定される床の挙動と、人間の心理的反応との関係から、人間の動作により生じる床の鉛直方向の挙動から感じられる床のかたさおよび鉛直方向の振動の、居住性からみた評価方法を確立することができた。

本研究の成果を適用して人間の動作により生じる床の鉛直方向の挙動を評価する場合には、対象とする床の用途、使用状況などに応じて評価項目を設定し、それぞれを測定、評価することになる。なおかたさの評価を行う場合には、前提として振動の評価を行い、さしさわりがないことを確認する必要があると考える。また振動の評価を行う場合にもかたさの評価を行い、かたすぎあるいはやわらかすぎでないことを確認するのが望ましい。

参考文献

- 1) 吉岡 丹, 小野英哲, 川村清志, 茗ヶ原泰広; 建築物の床のかたさおよびそ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, 日本建築学会論文報告集第245号 1976年7月
- 2) 吉岡 丹, 小野英哲, 川村清志, 茗ヶ原泰広; 建築物の床のかたさおよびその評価方法に関する研究, その2 床のかたさに関する心理学的尺度と物理量の対応および床のかたさの評価式, 最適値の提示, 日本建築学会論文報告集第246号 1976年8月
- 3) 内田祥哉; 床のかたさについて, 日本建築学会研究報告48号 1959年
- 4) 吉岡 丹; 床材料の歩行感とその弾力性について, 日本建築学会研究報告48号 1959年
- 5) 吉岡 丹; 各種床材料の弾力性測定装置の試作, 日本建築学会論文報告集第63号 1959年
- 6) 吉岡 丹, 平井和喜ほか; 床仕上材料の緩衝効果測定装置, 日本建築学会論文報告集号外 1965年
- 7) 平井和喜ほか; 床仕上材料の緩衝効果, 一衝撃因子の検討一, 日本建築学会東北支部研究報告11号 1968年
- 8) 栗山 寛, 平井和喜, 小野英哲, 渡辺正明, 大塚昭作; 床仕上材料の緩衝効果に関する研究, 歩行知覚に関する検討, 日本建築学会東北支部研究報告13号 1969年
- 9) 内田祥哉, 胡 占星ほか; 床の硬さが人間に及ぼす影響, (その1 歩行の解析), 日本建築学会論文報告集号外 1967年10月
- 10) 内田祥哉, 胡 占星ほか; 床の硬さが人間に及ぼす影響について, その2 歩行の解析(2), 日本建築学会大会学術講演梗概集 1968年10月
- 11) 内田祥哉, 胡 占星ほか; 床の硬さが人間に及ぼす影響について, その3 硬い測定器の設計, 日本建築学会大会学術講演梗概集 1968年10月
- 12) 川村恵洋ほか; 床材の官能試験, 新潟大学農学部新潟農林研究第22号別冊 1970年
- 13) 後藤剛史, 山田水城; "歩きやすさ" について, 一筋電計による解析一, 日本建築学会大会学術講演梗概集 1980年9月
- 14) 山田水城, 後藤剛史; "歩きやすさ" について, 一足部軌跡および加速度による解析一, 日本建築学会大会学術講演梗概集 1981年11月
- 15) W.C.Wolfe; Performance Tests for Floor Coverings, Materials Research and Standards 1970年7月
- 16) 小野英哲, 吉岡 丹; 体育館の床の弾力性に関する研究, (その1) 運動競技者が体育館の床に与える荷重の解析, 日本建築学会論文報告集第181号 1971年3月
- 17) 小野英哲, 吉岡 丹; 体育館の床の弾力性に関する研究, (その2) 体育館の床の弾力性測定装置の設計・試作, 日本建築学会論文報告集第18

7号 1971年9月

- 18) 小野英哲, 吉岡 丹; 体育館の床の弾力性に関する研究, (その3) 体育館の床の使用感調査および弾力性測定実験, 日本建築学会論文報告集第188号 1971年10月
- 19) 小野英哲, 吉岡 丹; 体育館の床の弾力性に関する研究, (その4) 弾力性使用感に関する心理学的尺度の構成, 日本建築学会論文報告集第226号 1974年12月
- 20) 小野英哲, 吉岡 丹; 体育館の床の弾力性に関する研究, (その5) 弾力性使用感に関する心理学的尺度と床の物理量との対応および弾力性の評価式, 最適値の提示, 日本建築学会論文報告集第227号 1975年1月
- 21) J.P.Guilford, 秋重義治監訳; 精神測定法, 培風館 1957年9月
- 22) 佐藤 信; 官能検査入門, 日科技連 1978年10月
- 23) 小野英哲, 小西敏正, 須藤 拓, 三上貴正; 住居床の性能及びその評価方法に関する研究, その1 かたさ, 日本建築学会大会学術講演梗概集1981年9月
- 24) 成瀬信子; 毛織物の官能量と物理特性について, 日本科学技術連盟第1回官能検査シンポジウム発表予稿集 1971年
- 25) F.C.Harper, W.J.Walow, B.L.Clark; The Forces Applied to the Floor by the Foot in Walking, National Building Studies Research Paper 32, Building Research Station 1961年1月
- 26) 今泉勝吉; 建築物内装工事における接着工法に関する研究, 学位論文 1966年
- 27) 大宰二郎, 坂恵一已; リブ付床版の振動性状, 1. 実大床版実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 1971年11月
- 28) 佐藤達郎, 穂苅 実, 坂恵一已; 歩行時の床振動に対する人体感覚, 日本建築学会大会学術講演梗概集 1972年10月
- 29) 柳田 裕; 長スパン床構造における振動性状評価のための基準化について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 1977年10月
- 30) D.E.Allen, J.H.Rainer, G.Pernica; Vibration Criteria for Long-Span Concrete Floors, Proceedings, ACI Symposium Vibrations of Concrete Structures 1977年10月
- 31) 後藤剛史; 振動と居住性, 日本建築学会環境工学委員会, 建築音響・振動分科会第17回音シンポジウム資料 1981年2月
- 32) 川村政美, 青柳 司, 内田直樹, 桐原英秋; 大スパン床ばりの振動性状(上), 一主として実測データについて一, 建築技術N0.310 1977年6月
- 33) 大島正光; 生体振動論, 東京大学出版会
- 34) 村田 丹, 村田洋治; 振動障害の指導基準用基礎資料, 日本建築学会大会学術講演梗概集 1971年11月
- 35) 三輪俊輔, 米川善晴; 振動の評価法1, 正弦振動の評価法, 日本音響学

会誌27巻1号 1971年

- 36) 三輪俊輔, 米川善晴; 振動の評価法3, 衝撃振動の評価法, 日本音響学会誌27巻1号 1971年
- 37) National Bureau of Standards; Correlation of Floor Vibration to Human Response, National Bureau of Standards Technical Note 904 1976年5月
- 38) 安藤直人, 杉山英男; 木質床の振動性状, (第2報) ストレスト・スキン・パネルの振動性状, 材料学会誌 VOL.31 NO.2 1975年
- 39) 安藤直人, 杉山英男; 木質床の振動性状, (第3報) ストレスト・スキン・パネルの衝撃荷重による動たわみと歩行振動, 材料学会誌 VOL.31 NO.2 1975年
- 40) 小林康彦, 林 雅樹, 横山茂之; 住居に使われる木質系床の振動評価方法についての実験的研究, その1 実験方法及びその結果に関する若干の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 1975年10月
- 41) 小林康彦, 林 雅樹, 横山茂之; 住居に使われる木質系床の振動評価方法についての実験的研究, その2 評価方法の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集 1975年10月
- 42) 小野英哲, 宮木宗和, 河田秋澄, 吉岡 丹; 床のすべりおよびその評価方法に関する研究, その1 研究方法およびすべり感覚の尺度化, 日本建築学会論文報告集第321号 1982年11月
- 43) 藤原勝夫, 池上晴夫; 床振動時の立位姿勢の応答特性, 体育学研究第29巻第3号 1984年12月
- 44) 玉木常博, 木下勝弘, 櫛田 裕, 広松 猛; 長スパン床構造の振動性状に関する実験的研究, (その2) 振動感覚と歩行時のシミュレーション解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集 1973年10月
- 45) 小野英哲, 橋田 浩; 居住性からみた建築物床の鉛直方向の振動の評価方法に関する基礎的研究, その1 振動に関する心理学的尺度の構成, 日本建築学会大会学術講演梗概集 1984年10月
- 46) 小野英哲, 橋田 浩, 横山 裕; 居住性からみた建築物床の鉛直方向の振動の評価方法に関する基礎的研究, その2 振動の評価に関する基礎的検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 1984年10月
- 47) J.D.Leatherwood; A Model for Predicting Human Discomfort Response to Combined Noise and Vertical Vibration, 学位論文, North Carolina State University
- 48) G.H.Atherton, A.Poleneck, S.E.Corder; Human Response to Walking and Impact Vibration of Wood Floors, Forest Products Journal VOL.25 NO.10 1976年10月
- 49) G.H.Atherton, S.E.Corder; Human Response to Vibration of Floors in Occupied Dwellings, Forest Products Journal VOL.29 NO.7 1979年7月

- 50) 小野英哲, 三上貴正, 岩崎淑子, 横山 裕; エアロビックダンスフロアのかたさ, すべりの評価方法に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集第385号 1988年3月 掲載予定

図，表，写真リスト

第2章 居住性からみた建築物床のかたさの評価方法

図-2.1	かたさ感覚尺度線図	P.17
図-2.2	かたさ評価尺度線図	
	(イ) かたさ適性尺度	P.18
	(ロ) 長期疲労予測尺度	P.19
図-2.3	実際床と試料床とのかたさ評価尺度の関係	P.27
図-2.4	歩行者が床に与える鉛直荷重の時間変化および足の接地状況との関係の代表例と床のかたさ測定装置の荷重条件	P.29
図-2.5	床のかたさ測定装置の概要	P.31
図-2.6	床のかたさ測定装置のゴムばねの特性	P.34
図-2.7	床のかたさ測定装置の荷重体の安定性	P.35
図-2.8	床のかたさ測定装置による試料床の動的変形挙動の測定結果の一例	P.37
図-2.9	$\log(U_{F1} - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1})$ とかたさ感覚尺度との関係	P.40
図-2.10	$\log(U_{F1} - B \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1})$ とかたさ感覚尺度との関係の一例	P.41
図-2.11	$\log(U_{F1} - 8 \cdot D_R \times D_R \cdot T_R^{-1})$ とかたさ評価尺度との関係	
	(イ) かたさ適性尺度・男性	P.43
	(ロ) かたさ適性尺度・女性	P.44
	(ハ) 長期疲労予測尺度・男性	P.45
	(ニ) 長期疲労予測尺度・女性	P.46
図-2.12	かたさの最適値および許容範囲(例)	P.49
表-2.1	官能検査要領一覧	P.8
表-2.2	分散分析結果	P.15
表-2.3	かたさ感覚尺度，かたさ評価尺度の相関表	P.20
表-2.4	実際床での官能検査要領一覧	P.23
表-2.5	実際床での官能検査の分散分析結果	P.26
表-2.6	試料床の物理量測定結果	P.39
写真-2.1	試料床の設置状況	P.11
写真-2.2	検査に用いたスリッパ，軟底紳士靴，硬底紳士靴，中ヒール	P.12
写真-2.3	官能検査状況	P.14
写真-2.4	実際床での官能検査状況	P.25
写真-2.5	床のかたさ測定装置	P.32

第3章 居住性からみた建築物床の鉛直方向の振動の評価方法 (振動発生者と受振者が同じ場合)

図-3.1	振動感覚に関する官能検査の試料床の概要	P.59
図-3.2	振動感覚尺度線図と分散分析結果	P.64
図-3.3	歩行時の試料床の挙動の測定結果の一例	P.68
図-3.4	歩行者が床に与える鉛直荷重の時間変化および足の 接地状況との関係の代表例と床振動測定装置の 鉛直荷重	P.69
図-3.5	床のかたさおよび振動測定装置(前、床のかたさ 測定装置)の概要	P.71
図-3.6	床振動測定装置による試料床の挙動の測定結果の 一例	P.74
図-3.7	振動数、振幅と振動感覚尺度との関係の一例およ びマイスター曲線	P.75
図-3.8	VGLと振動感覚尺度との関係の一例	P.76
図-3.9	Dampと振動感覚尺度との関係の一例	P.78
図-3.10	D _{max} , T _h とV I(1)との関係	P.82
図-3.11	V I(1)と振動感覚尺度との関係	P.84
図-3.12	振幅の半減時間の関係	P.85
図-3.13	振動評価に関する官能検査の試料床の概要	P.88
図-3.14	振動評価尺度線図と分散分析結果 (イ) 尺度K (ロ) 尺度S (ハ) 尺度F	P.94 P.95 P.96
図-3.15	V I(1)と振動評価尺度との関係 (イ) 尺度K (ロ) 尺度S (ハ) 尺度F	P.100 P.101 P.102
図-3.16	床振動の許容範囲(例)	P.104
表-3.1	振動感覚に関する官能検査要領一覧	P.57
表-3.2	振動感覚尺度の相関表	P.66
表-3.3	振動感覚に関する官能検査の試料床の物理量測定 結果	P.83
表-3.4	振動評価に関する官能検査要領一覧	P.86
表-3.5	振動評価に関する官能検査の試料床の物理量測定 結果	P.90
表-3.6	振動評価尺度の相関表	P.98
写真-3.1	試料床の設置状況	P.60
写真-3.2	振動感覚に関する官能検査に用いた硬底靴	P.62

写真-3.3	振動感覚に関する官能検査状況	P.63
写真-3.4	床のかたさおよび振動測定装置（前、床のかたさ測定装置）	P.72
写真-3.5	振動評価に関する官能検査に用いたスリッパ、軟底紳士靴、硬底紳士靴、中ヒール、運動靴	P.91
写真-3.6	振動評価に関する官能検査状況	P.93

第4章 居住性からみた建築物床の鉛直方向の振動の評価方法 （振動発生者と受振者が異なる場合）

図-4.1	試料床および試料床加振装置の概要	P.114
図-4.2	標準床および標準床加振装置の概要	P.118
図-4.3	振動感覚尺度線図と分散分析結果	P.123
図-4.4	床振動測定装置による試料床の挙動の測定結果および試料床に与えられる加振力の測定結果の例 （イ）検査試料N0.8 （ロ）検査試料N0.21	P.128 P.129
図-4.5	$0.7 \log (D_{\max} / D_{\text{ref}}) + \log (T_h / T_{\text{ref}})$ と振動感覚尺度との関係	P.132
図-4.6	VI(2)と振動感覚尺度との関係	P.134
図-4.7	振幅の半減時間の関係	P.136
図-4.8	振動評価尺度線図と分散分析結果 （イ）尺度D （ロ）尺度R	P.144 P.145
図-4.9	VI(2)と振動評価尺度との関係 （イ）尺度D （ロ）尺度R	P.149 P.150
図-4.10	床振動の許容範囲（例）	P.152
図-4.11	人間が床に与える鉛直荷重の時間変化の代表例と床振動測定装置の鉛直荷重 （イ）歩行 （ロ）かけ足	P.154 P.155
図-4.12	試料床の概要	P.157
図-4.13	人間の動作時と床振動測定装置による加振時との試料床の挙動の関係 （イ）歩行 （ロ）かけ足	P.158 P.159
図-4.14	床振動測定装置による実大床の挙動の測定結果の一例	P.160
表-4.1	振動感覚に関する官能検査要領一覧	P.112

表－4.2	振動感覚に関する官能検査の検査試料の概要および び床振動測定装置による物理量測定結果	．．．．． P.117
表－4.3	振動感覚尺度の相関表	．．．．． P.124
表－4.4	振動評価に関する官能検査要領一覧	．．．．． P.137
表－4.5	振動評価に関する官能検査の検査試料の概要および び床振動測定装置による物理量測定結果	．．．．． P.139
表－4.6	振動評価尺度の相関表	．．．．． P.147
写真－4.1	試料床および試料床加振装置	．．．．． P.115
写真－4.2	標準床および標準床加振装置	．．．．． P.119
写真－4.3	振動感覚に関する官能検査状況	．．．．． P.122
写真－4.4	物理量測定状況	．．．．． P.127
写真－4.5	振動評価に関する官能検査に用いた硬底紳士靴， 中ヒール	．．．．． P.141
写真－4.6	振動評価に関する官能検査状況	．．．．． P.143
写真－4.7	実大床の物理量測定状況	．．．．． P.161

既発表論文

I 本研究と関連した既発表論文

(イ) 審査論文

	論文題目	掲載誌	共同発表者
1	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 1985年12月	小野英哲 大野隆造
2	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 1987年3月	小野英哲
3	人間の動作により発生する床振動の振動感覚上の表示方法に関する研究 —振動発生者と受振者が同じ場合—	日本建築学会 構造系論文報告集 第381号 1987年11月	小野英哲
4	居住性からみた人間の動作により発生する床振動の評価方法に関する研究 —振動発生者と受振者が同じ場合—	日本建築学会 構造系論文報告集 投稿中	小野英哲
5	人間の動作により発生する床振動の振動感覚上の表示方法に関する研究 —振動発生者と受振者が異なる場合—	日本建築学会 構造系論文報告集 投稿中	小野英哲

(ロ) 口頭発表論文

	論文題目	掲載誌	共同発表者
1	建築物床のかたさに関する研究 その1 床のかたさに関する心理学的尺度の構成	日本建築学会大会 学術講演梗概集 1984年10月	小野英哲 大野隆造 三上貴正 李 健泰

- | | | | |
|---|---|----------------------------------|----------------------|
| 2 | 建築物床のかたさに関する研究
その2 床のかたさの評価指標および評価方法の提示 | 日本建築学会大会
学術講演梗概集
1984年10月 | 小野英哲
三上貴正
大野隆造 |
| 3 | 居住性からみた建築物床の鉛直方向の振動の評価方法に関する基礎的研究
その2. 振動の評価に関する基礎的検討 | 日本建築学会大会
学術講演梗概集
1984年10月 | 小野英哲
橋田 浩 |
| 4 | 建築物床のかたさに関する研究
その3 床のかたさ測定装置の設計・試作およびかたさの評価指標の提示 | 日本建築学会大会
学術講演梗概集
1985年10月 | 小野英哲
大野隆造 |
| 5 | 居住性からみた建築物床の鉛直方向の振動の評価方法に関する研究
床振動測定装置の設計・試作 | 日本建築学会大会
学術講演梗概集
1986年 8 月 | 小野英哲
川村清志
吉岡 丹 |
| 6 | 居住性からみた人間の動作により発生する床振動の評価方法に関する研究
その1 振動発生者と受振者が同じ場合の床振動の振動感覚上の表示方法の提示 | 日本建築学会大会
学術講演梗概集
1987年10月 | 小野英哲
吉岡 丹
川村清志 |
| 7 | 居住性からみた人間の動作により発生する床振動の評価方法に関する研究
その2 振動発生者と受振者が同じ場合の床振動の評価指標, 評価方法の提示 | 日本建築学会大会
学術講演梗概集
1987年10月 | 小野英哲
吉岡 丹
川村清志 |

II その他の既発表論文

(イ) 審査論文

論文題目	掲載誌	共同発表者
1 スポーツサーフェイスのすべりの評価方法に関する研究	日本建築学会 構造系論文報告集 第359号 1986年1月	小野英哲 橋田 浩
2 安全性からみた浴室床および浴槽底のすべりの評価方法に関する研究 その1 すべり抵抗の測定方法の設定および浴槽縁断面寸法の設定	日本建築学会 構造系論文報告集 第384号 1988年2月	小野英哲 上野静二 大野隆造 三上貴正
3 エアロビックダンスフロアのかたさ, すべりの評価方法に関する研究	日本建築学会 構造系論文報告集 第385号 1988年3月 掲載予定	小野英哲 三上貴正 岩崎淑子
4 安全性からみた浴室床および浴槽底のすべりの評価方法に関する研究 その2 すべりの評価指標および評価方法の提示	日本建築学会 構造系論文報告集 第387号 1988年5月 掲載予定	小野英哲 三上貴正 大野隆造 上野静二 高木 直

(ロ) 口頭発表論文

論文題目	掲載誌	共同発表者
1 スポーツサーフェイスのすべりの評価方法に関する研究	日本建築学会大会 学術講演梗概集 1983年9月	小野英哲 橋田 浩
2 安全性からみた風呂場のすべりの評価方法に関する研究	日本建築学会大会 学術講演梗概集 1984年10月	小野英哲 大野隆造

- | | | | |
|---|---|---------------------------------|--|
| 3 | 安全性からみた浴室におけるすべりの評価方法に関する研究
その2 素足および石けん水がかりの場合の評価方法の提示 | 日本建築学会大会
学術講演梗概集
1986年8月 | 小野英哲
大野隆造
三上貴正
馬場孝吉
渡辺 明 |
| 4 | 建築物床のすべり抵抗の測定方法の標準化に関する研究
ー土砂・ほこりの代替媒介物の提示ー | 日本建築学会大会
学術講演梗概集
1986年8月 | 小野英哲
高木 直
上野静二
大野隆造
三上貴正
武田 清 |
| 5 | 清掃時における建築物内外装仕上材料の耐傷性の評価方法に関する研究
ー清掃による傷つきの程度を再現する傷つけ装置の設計・試作ー | 日本建築学会大会
学術講演梗概集
1987年10月 | 小野英哲
柏淵隆夫
三上貴正 |
| 6 | 建築物床のすべり抵抗の測定における媒介物の標準化に関する研究
ー水類, 油類, 洗剤類の代替媒介物の提示ー | 日本建築学会大会
学術講演梗概集
1987年10月 | 小野英哲
高木 直
三上貴正 |
| 7 | エアロビクス用床のかたさおよびすべりに関する研究 | 日本建築学会大会
学術講演梗概集
1987年10月 | 小野英哲
岩崎淑子
三上貴正 |
| 8 | 接触時の”痛さ”からみた建築物床表面凹凸の評価方法に関する研究 | 日本建築学会大会
学術講演梗概集
1987年10月 | 小野英哲
永田まゆみ
三上貴正 |
| 9 | 視覚的観点からみた建築物床仕上面の凹凸の評価方法に関する研究
ー凹凸の観察条件の設定ー | 日本建築学会大会
学術講演梗概集
1987年10月 | 小野英哲
柳澤忠義
三上貴正
高木 直 |