

木質系床材の性能評価法に関する研究
第1報. 身体各部位の加速度に基づく検討

土井 正, 宮野 道雄, 綿貫 茂喜, 中根 芳一
大阪市立大学生生活科学部

**Studies on Development of Evaluation Method for
Wood-Based Floors**
**Part 1. Evaluating the Attenuational Capacity of Human
Locomotor System due to the Acceleration
at Several Parts of the Human Body**

Tadashi DOI, Michio MIYANO, Shigeki WATANUKI
and Yoshikazu NAKANE

Faculty of Science of Living, Osaka City University.

Experiments were conducted to compare the impact on several parts of the body caused by the striking of the heel during human gait.

In these experiments, five kinds of wood flooring that have differing levels of light weight-impact sound insulating efficiency were used.

The obtained results were as follows:

- 1) The generated acceleration at calcaneus varied with the difference of flooring. According to the regression analysis, the open polygonal relationship between bound back coefficient of floor and acceleration of calcaneus was determined.
- 2) The impact force given to the calcaneus propagated from the heel to the forehead after most of the force being absorbed at the ankle and the knee. We found direct correlation between the subjective feeling of floor pliability and the force to the leg.

Therefore, it was suggested that the measurement of the force to the ankle and the knee was important in evaluating the efficiency of floors.

(Ann. Physiol. Anthropol. 12(1): 11-16, 1993)

Key words: Wood-based floor, Acceleration, Human gait, Attenuational load, Subjective feeling

住宅の高断熱、高気密化にともない畳やカーペット敷きの床はアレルギーとなるダニの繁殖に快適な環境になっている(市川と吉川, 1986; 森谷, 1989)。そのため、木質系材料を主体とした加工床板、いわゆるフローリングの採用や、畳やカーペットからフローリン

グへのリフォームが増加しており、とりわけ、鉄筋コンクリート造集合住宅では著しい。しかしながら、フローリングの普及は階下への軽量床衝撃音による新たな近隣騒音問題を引き起こしている。そのため、階下への床衝撃音を軽減するため、床衝撃音レベルの遮音

性能が規定され (JIS A 1419建築物の遮音等級), 日本建築学会においては建築物の構造, 用途により各部位床材の床衝撃音レベルの適応等級を定めている。しかし, フローリングの床衝撃音遮断性能は緩衝作用が主体となっており, 高遮断性能を付与するほど床材の変形量が増加するため, 歩行感などの居住性に影響があると指摘されている (末吉ら, 1991; 差出ら, 1991)。

一方, 歩行に関して, Voloshin ら (1981) はヒトの移動系における衝撃波の吸収能力の検討から, 関節の変性病変は衝撃吸収能を減少させ, それがさらに移動系に過負荷を与え, 骨関節炎などを誘起する可能性を示唆している。さらに, Smeathers (1989) は踵接地時の足部～頭部間の過渡振動の計測から衝撃吸収は主に脚部で生じていると報告している。

日本人の居住形態は室内においては素足ないしは靴下程度の着用による歩行であることから, 床から受ける衝撃力を履物によって吸収することは期待できない。そのため畳やカーペットなどと比較して硬い材質であるフローリングの増加は衝撃吸収を担っている関節部への障害を引き起こし, とりわけ関節疾患をもつものや高齢者にとってはその危険性が憂慮される。しかしながら, フローリングの選択は一般には床衝撃音の遮断性能によってなされており, それもしばしば経済的要求から性能の低い等級が採用されている。したがって, 関節など歩行系への影響を考慮したフローリングの性能評価法を早急に確立する必要がある。

本研究では木質系床材の評価法開発の基礎資料を得る目的で, 各種フローリング上の歩行による身体各部位の衝撃による加速度の大きさを測定し, 身体各部位における衝撃吸収の程度が材質の違いによって異なるか否かを検討した。

方 法

1) 床材

実験に用いたフローリングは一般に市販されている防音直貼り木質床材 3 種類 (記号 B, C, D), 直貼り複合フローリング 1 種類 (E), および防音床材 (B) にカーペットを敷いたもの (A) の計 5 種類である。表 1 に床材の諸元を示す。防音床材は合板にクッション材を裏打ちしたもので, クッションの厚みや構造を変えることで遮音性能を得ている。そこで, フローリングの厚みはなるべく同じになるように選択した。実

Table 1 Specifications of wood floors used for test specimens.

Type	Size* (mm)	Lightweight-impact sound insulation	weight/area (kg/m ²)	Bound back Coefficient**	Contain
A	1818×910×21	LL45+	9.65	0.254±0.007	Acrylic fiber carpet upon type B floor
B	1818×910×17	LL45	8.73	0.281±0.013	Plywood and Polyurethane
C	1818×910×20	LL50	9.46	0.438±0.010	Plywood and Polyurethane
D	1818×910×13	LL55	6.50	0.334±0.009	Plywood and Polyurethane
E	1818×910×15	—	8.71	0.360±0.009	Plywood coated by ceramic

* Length × width × thickness, with plywood approach floor 910 × 910 (mm)

** Mean value ± Standard deviation

験床は鉄筋コンクリート造 3 階建て建物の床コンクリートスラブ上に各床材を寸法 1810×910mm (1 畳) に直貼りし, 周囲を木枠で固定したものである。自然な歩行になるように試験床の前後に同一高さでそれぞれ 910×910mm の合板製のアプローチを設置した。なお, 床材の表面部分の硬さは一定の高さから一定質量のおもりを試験面上に自然落下させ, そのね上がり高さを求める衝撃圧入法により求めた。本研究では試験床にソフトボール (日本ソフトボール協会公認 1 号球 140 g) を高さ 1 m から自然落下させ, その反発高さ (m) を反発係数とした。

2) 加速度測定装置

人体各部位, 左足の踵骨, 内果, 大腿骨外側顆, 腰椎 (L4) および前額部の計 5 ヶ所の皮膚表面に, ひずみゲージ式加速度変換器 (日本電気三栄製 9E07-A1-5 L) を Wosk と Voloshin (1981) の方法に従って両面テープで貼り付けた。その際, 加速度センサーの測定軸は, 体軸に平行になるようにし, 筋肉の動きを阻害しない程度にサージカルテープで固定した。変換器からの出力信号は同軸ケーブルで接続したひずみ測定器 (日本電気三栄製 6M82) を通じて Signal Processer (日本電気三栄製 DP1100) を用いて収録し, 予め校正しておいた加速度と出力値の関係から加速度に変換した。信号の同期のため試験床面上にも加速度計を設置し, 左足の接地による床面の振動をトリガーとした。

3) 実験手順

被験者は, 素足でアプローチ上に立位安静を保ち, 合図の後, 正面前方の高さ 1.5m に設置した目標に視

点を定めて、各人の自然な歩幅で歩行させた。各試験床について10回繰り返し歩行をさせ、その種類の終了時に床面の硬さについて硬いか柔らかいかを、どちらともないを0として5段階に分けて主観的評価をさせた。被験者は健康な女子大学生6名(身長:平均160.7cm:範囲154~166cm, 体重:平均49.9kg:範囲45~58kg)とした。なお、測定時の室温は20℃, 相対湿度は60%であった。

結果

脚の踏み出し、踏み下ろし動作によっても加速度は生じるが、本研究では身体各部位の加速度は踵の接地により荷重を受けた床材の反力に応じて生じたものを各部位の加速度とした。図1に測定結果の1例を示す。横軸は時間、縦軸は加速度を示している。図中の最上段のチャートが歩行によって生じた床材の振動加速度を示し、以下、踵骨、内果、大腿骨外側顆、腰椎(L4)および前額部の順である。図では縦軸の上方向が足の踏み出しによる加速度で、下方向の▲印部分を反力により生じた身体各部位の加速度とした。なお、最大振

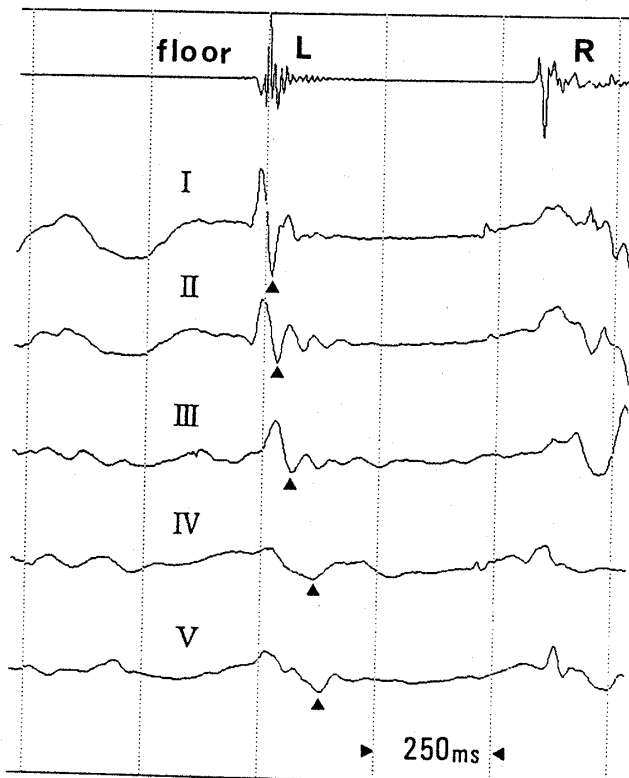


Fig. 1 Typical accelerogram from human locomotor system.
L: resulted from left leg heel strike.
R: resulted from right leg heel strike.

幅あるいは一定時間内の加速度の絶対値の積分値は床材の特性と歩行による足の上げ下ろしによる加速度が重畳されたものと考え、床材の特性として▲印部分の加速度の大きさを検討している。

図2は各部位で生じた加速度の大きさ(以下、単に加速度とする)を床材の種類別に示したものである。床材(A)における踵骨の加速度はその他の床材におけるものより有意($P<0.05$)に小さかった。さらに、どの床材においても踵骨の加速度は内果および大腿骨外側顆のものより有意($P<0.05$)に大きかった。踵骨および内果には床材質による加速度に有意差が認められたが、大腿骨外側顆、腰椎および前額部の加速度の材質による違いは有意でなかった。

図3に床材の反発係数と踵骨の加速度との関係を示した。踵骨では加速度と反発係数との間には、反発係数が床材Dにはほぼ相当する反発係数(0.34)までは、加速度と反発係数とには線形関係($Y=72.8 \times -1.44$ $r=0.585$)があり以後、反発係数が大きくなっても加速度は一定(23.0m/s^2)となる。その他の各部位においては反発係数と加速度の間には有意な相関は認められなかった。

図4は、踵での衝撃が前額部に至るまでにどの程度

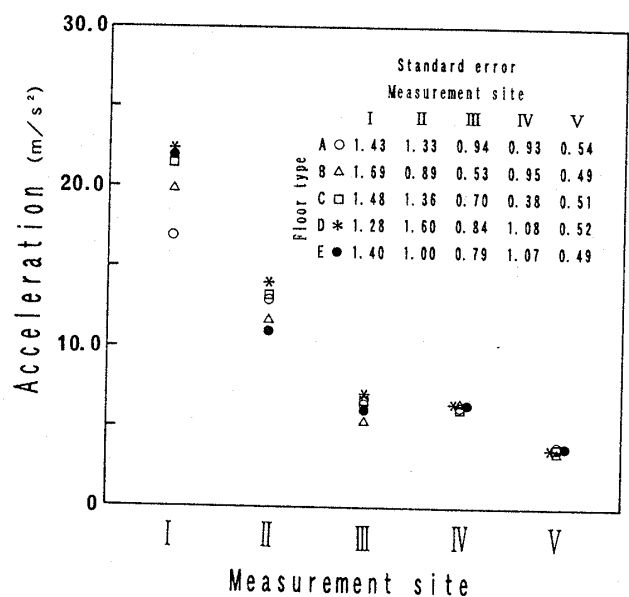


Fig. 2 Mean acceleration caused by heel strike measured with accelerometer on several parts of the human locomotor system.
I: calcaneus, II: medial malleolus, III: lateral condyle of femur, IV: lumbar vertebrae (L4), V: forehead

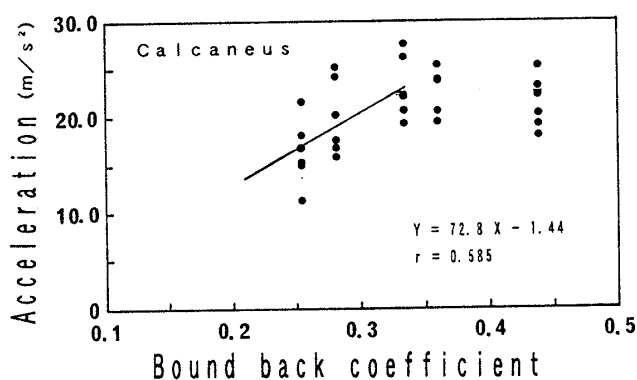


Fig. 3 Relationship between bound back coefficient of wood floors and acceleration at the calcaneus caused by heel strike.

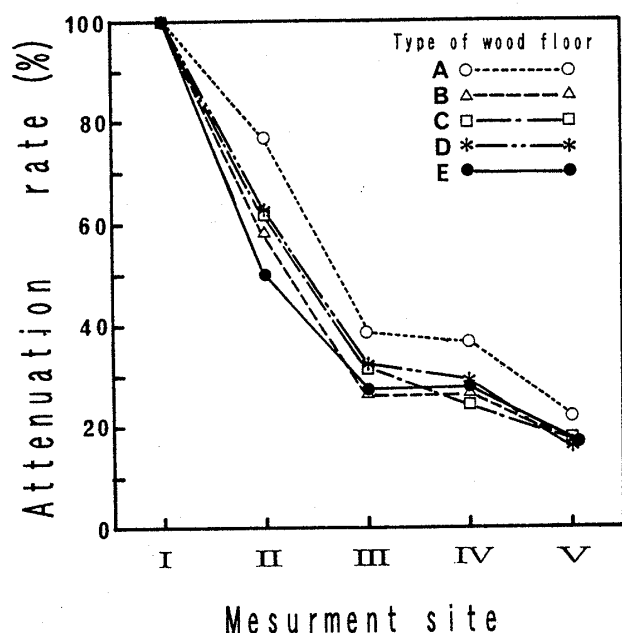


Fig. 4 Attenuation rate of acceleration at each measurement site.

I: calcaneus, II: medial malleolus, III: lateral condyle of femur, IV: lumbar vertebrae (L4), V: forehead

で吸収されているかをみるために、各部位における加速度の踵骨の加速度に対する比率をとったものである。これによれば、床材の種類にかかわらず踵に加えられた衝撃が大腿骨外側顆すなわち踝および膝の関節を通過することによって70%程度吸収され、腰椎を経て前額部に至っている。このことは、衝撃吸収のため踝や膝といった下腿の関節部に負荷が集中していることを示唆している。

次に、床材ごとに踵骨の加速度を大腿骨外側顆の加

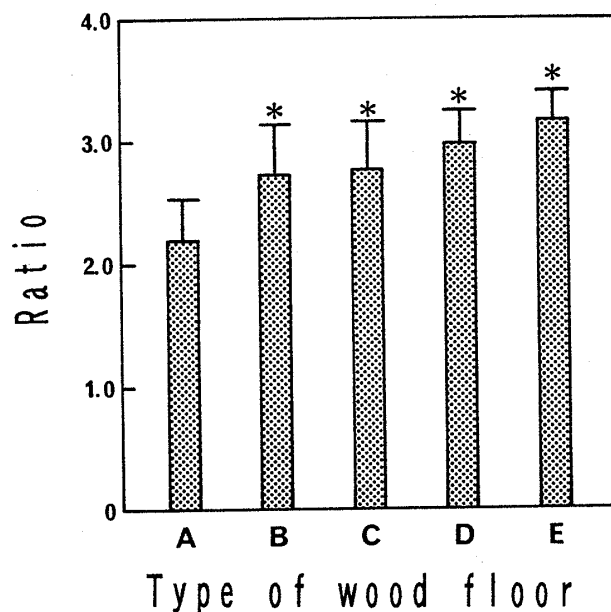


Fig. 5 Attenuational load at the leg for five types of wood floors (cf. table 1). Values are means and standard errors.

* $P < 0.05$ when compared to the type A floor.

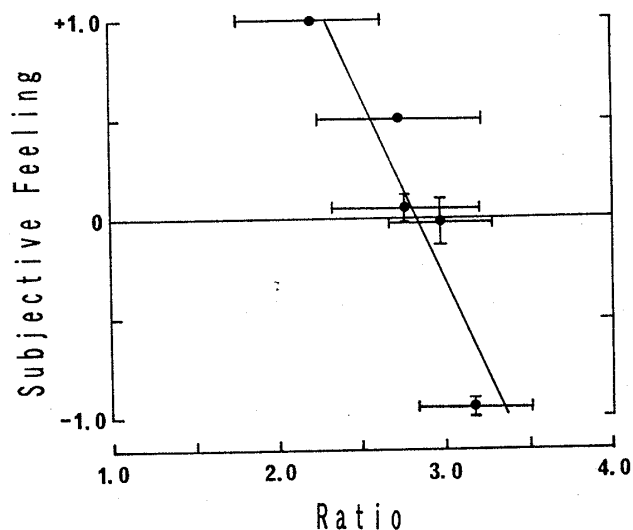


Fig. 6 Relationship between the attenuational load at the leg and the degree of subjective feeling of hardness for test floors. Vertical line shows subjective feeling (+1: soft, 0: neutral, -1: hard).

Values are means and standard errors.

速度で除したものを踝および膝への負荷とみなして図5に示した。踝および膝への負荷は柔らかい床材(A)で最も小さく、硬い床材(E)で最も大きくなっている。

最後に、床材の硬さ柔らかさの主観評価と踝および膝への負荷(図5の各床材の値)との関係を図6に示した。踝および膝への負荷と被験者の床の硬さに対す

る感覚とはよく一致し、負荷の大きい床材ほど硬いと評価された。

考 察

近年、鉄筋コンクリート造集合住宅の床には畳やカーペット敷きの床よりもフローリングが多く使用されている。しかし、フローリングは材質が硬いため階下への衝撃音による騒音問題を引き起こした。そのため、床衝撃音に対する遮音性能に関する研究は数多い。

ところで日本人の居住形態は室内においては素足ないしは靴下程度の着用による歩行であることから、硬い材質であるフローリングの増加は衝撃吸収を担っている関節部への障害を引き起こし (Voloshin ら, 1981), とりわけ関節疾患をもつものや高齢者にとってはその危険性が憂慮される。そのため、ヒトの生理特性からみた床材の性能評価が不可欠である。

本研究においては床材の評価指標として身体各部位の加速度を測定した。加速度は関節への負荷を計算する上で有用とされている (Liberson, 1965; Smidt ら, 1971; Plaja ら, 1976; Gruber ら, 1982)。

歩行衝撃による加速度は、床材の反力により生じる。その反力は床に加えられた衝撃力に依存するから、その因子である歩行者の体重や歩行運動強度になんらかの相関関係が予測される。そこで、被験者の体重と踵骨の加速度との大きさを検討したところ、有意な相関は認められなかった。また、身長との間にも有意な相関はなかった。このことは、あくまで被験者各人の自然な歩行時の衝撃を捉えることを目的としているため、歩幅、歩行速度といった歩行運動量を制限していないことによると考えられる。すなわち、本研究の測定値は被験者が日常的に受けている歩行衝撃を代表するものであり、歩き方には大きな個人差がある現実から、それを制限した状態での衝撃加速度の検討はあまり意味が無いと考える。

歩行により身体が受ける加速度 (衝撃) は図 2 に示される。踵骨における加速度は、概ね軽量床衝撃音の遮音等級の性能 (L 値) と逆順の大きさになっている。踵骨および内果においては、床材質による加速度の違いが認められたが、大腿骨外側顆、腰椎および前額部には材質による有意差はなかった。床材の表面硬さの指標の一つである反発係数と歩行による踵骨の加速度との関係をみると、折れ線回帰が得られた (図 3)。こ

れは、床材質によって踵骨の加速度は変化するが、その大きさは完全な線形ではなく、床表面の反発係数が大きくなっても加速度は一定の大きさで飽和することを示している。遮音性能の高い床材は、クッション層が柔らかいことから反発係数は小さくなる傾向にあるが、床材によってクッション厚みとその層構造に若干の違いがあることから、床材 C が最も反発係数が大きいように、必ずしも直線的な関係にはない。

次に、踵骨に加わった衝撃力 (各床材の平均値の範囲: $16.29 \sim 22.40 \text{ m/s}^2$) が前額部に伝わる過程をみると (図 2), その大きさにかかわらず、大腿骨外側顆 ($5.37 \sim 6.91 \text{ m/s}^2$), 腰椎 ($6.17 \sim 6.42 \text{ m/s}^2$) および前額 ($3.54 \sim 3.86 \text{ m/s}^2$) の各部位ではほぼ一定の値となり材質の違いはなかった。

そこで、床材の反力で生じた踵骨の加速度が各部位でどの程度減衰するか検討した (図 4)。これによると、踵に加えられた衝撃は身体各部位で吸収されながら前額に伝わるが、各部位での吸収の程度を見るとほとんど踝と膝で衝撃を吸収しているとみなされる。

なお、Voloshin ら (1981) はヒトの歩行系の障害の程度を身体各部の加速度から判定するために青年男女 (身長: 平均 170.3 cm : 範囲 $152 \sim 181 \text{ cm}$, 体重: 平均 60.85 kg : 範囲 $52 \sim 74 \text{ kg}$) を用いて、柔軟性のない硬い床面の素足歩行実験を行った。その結果、障害のないグループの加速度は脛骨粗面 (16.79 m/s^2), 大腿骨内側顆 (12.49 m/s^2) および前額 (5.00 m/s^2) を報告している。これによれば、前額と大腿骨内側顆の加速度の比は 2.50 となり、本研究において踵骨で最大加速度を生じた床材における前額と大腿骨外側顆との比の 2.20 とほぼ一致している。

Wosk ら (1981) および Voloshin ら (1981) によれば関節部の衝撃吸収能を評価するために、ある関節部の入力加速度を出力加速度で除した値を報告している。これらの報告と同様に踵骨の加速度を大腿骨外側顆の加速度で除したものが踝および膝において要求される衝撃吸収能とすれば、踵に加わった衝撃を吸収するための踝および膝における負荷と考えられる。踝および膝の負荷と床材質との関係をみると (図 5), 床材 A とその他の床材との検定を行ったところ材質によって踝および膝への負荷が有意に異なることがわかる。従って、床材の性能を評価する上で踝や膝における加速度は生体側からの情報として有用と考えられる。

ところで、末吉ら (1991) および差出ら (1991) が指摘したように床材の硬軟性は歩行感に影響を与える。そこで、被験者に床の硬軟性の主観評価をさせたところ、図 6 に示すように床の硬い、柔らかいといった主観評価は踝および膝への負荷とよく一致した。このように、下腿への負荷は生理的、心理的にも床材の性能評価の重要な指標と考えられる。

まとめ

床衝撃音の遮音性能の異なる木質系床材を用いて、歩行により生じた身体各部位の加速度の大きさを比較検討したところ、以下のような結果が得られた。

1. 床材質の違いによって踵骨に生じる加速度は変化した。床材の反発係数と踵骨の加速度の大きさには、反発係数が低い範囲では直線回帰の関係があり、その範囲を越えると加速度はある大ききで反発係数と無関係に飽和することが示された。
2. 踵骨に加わった衝撃力はその大きさにかかわらず、ほぼ踝、膝といった下腿の関節部で吸収されて前額に伝わった。また、床の硬軟性に関する主観評価は踝および膝への負荷とよく一致した。従って、踝および膝への負荷を測定することが床材の性能を評価するためには重要であることが示唆された。

謝 辞

稿を終えるにあたり、加速度測定にご尽力ご助言を賜りました日本電気三栄株式会社の中村稔氏、金子秀樹氏および、実験に際してご協力賜った本学大学院生呂恒俊氏、延原理恵氏および坂本悦子氏に感謝致します。

なお本研究の一部は平成 3 年度文部省科学研究費補助金 (課題番号 03680074: 高齢者にとって快適な居住環境性能の評価に関する研究; 研究代表者, 宮野道雄) により行ったことを付記する。

文 献

市川栄一, 吉川翠, 1986: 家のカビ・ダニ退治法. 主

婦と生活社, 1-207.

森谷清樹, 1989: 家の中のダニ. 裳華房, 75-142.

末吉修三, 斎藤寿義, 星通, 1991: 静的荷重による直貼り床板のたわみ. 日本木材学会大会研究発表要旨集, 5.

指出佳子, 木村翔, 井上勝夫, 石川俊郎, 1991: 木質系フローリング床の衝撃力特性と床衝撃遮断効果について. 日本建築学会大会学術講演梗概集 D, 265-266.

Wosk, J., and Voloshin, A., 1981: Wave attenuation in skeletons of young healthy persons. *J. Biomechanics*, 14 (4): 261-267.

Voloshin, A., Wosk, J., and Brull, M., 1981: Force wave transmission through the human locomotor system. *Trans ASME, J. Biomech. Eng.*, 103 (1): 48-50.

Smeathers, J. E., 1989: Transient vibrations caused by heel strike. *Proc. Inst. Mech. Eng., Part H*, 203 (4): 181-186.

Liberson, W. T., 1965: Biomechanics of Gait: A Method of Study. *Archives of Physical Medicine*, 46: 37-48.

Smidt, G. L., Arora, J. S., and Jonhston, R. C., 1976: Accelerographic Analisis of Several Types of Walking. *American Journal of Physical Medicine*, 50: 285-300.

Plaja, J., Maldonado, F., and Goig, J. R., 1976: Accelerometric and Goniometric Patterns of Normal and Pathological Gaits. *Proceedings of the Fifth International Congress of Biomechanics, Jyvaskyla, Finland*, 1A: 347-351.

Gruber, K., Legal, H., and Ruder, H., 1982: Biomechanical analisis of locomotion patterns of the lower extremity. I. acceleration. *Z. Orthop*, 120 (6): 806-813.

(1992年 4 月 23 日受付)

土 井 正
Tadashi DOI

〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138 大阪市立大学 生活科学部 生活環境学科
Faculty of Science of Living, Osaka City University
3-138, Sugimoto, 3-chome, Sumiyoshi-ku, Osaka 558, Japan