

# 走行環境と車いすの構造が車いす使用者の身体におよぼす影響と快適性に関する研究 －車いすが歩道を走行する時の身体振動の評価－

## Study on Driving Environments and Wheelchair's Structures that Influence Wheelchair User's Physiologic Conditions and Comfort

### －Evaluation of Body Vibrations During Wheelchair Running Over Sidewalk Surfaces－

橋詰 努 北川博巳 大原 誠 室崎千重 村井裕樹

HASHIZUME Tsutomu, KITAGAWA Hiroshi, OHARA Makoto, MUROSAKI Chie, MURAI Hiroki

#### キーワード：

車いす、全身身体振動、道路環境、評価、ユニバーサルデザイン

#### Keywords:

Wheelchair, whole-body vibration, road conditions, evaluation, universal design

#### Abstract:

Wheelchair users are always exposed to the body vibrations in daily life caused by various road conditions such as surface of sidewalk, curb, bumps, uneven terrain and other barriers. Some extended exposure to such vibrations may cause secondary disorders for the wheelchair users. It is important issue to reduce the vibrations and physical strain of the wheelchair users, and also to improve the walking environments. The purpose of this study is to evaluate the body vibration as a measure of the physical strain for wheelchair users when the manual wheelchair is running over sidewalk and curb. Four normal subjects were asked to drive the wheelchair at approximately 6 km/h over the sidewalk surfaces and curbs at the experimental model course, while body vibrations were measured at the seat of wheelchair. It was clarified quantitatively that the sidewalk surface and curb design have a

significant influence on the body vibration, and we should pay attentions to reduce such a risk.

#### 1 はじめに

車いすを安全で快適に走行するには、道路の段差・路面勾配や交通機関、施設のアクセシビリティ等の走行環境と車いすの構造さらに車いす使用者の身体特性や生活環境を総合的に検討する必要がある。

車いすを駆動する時の身体的負担を軽減する課題とともに、走行中の振動や衝撃等に起因する不快感や疲労、姿勢のくずれや痙攣の誘発等の研究も重要な課題である。

本研究は走行環境と車いすの構造が車いす使用者の身体におよぼす影響を定量的に評価し、安全で快適な走行環境を実現するために、まちづくりの基礎的なデータを提供することと、車いすの工学的な改良点を提示することを目的とする。

車いすが歩道を走行する際には、各種の舗装路面や横断・縦断勾配、歩車道境界縁石、路面の凹凸などさまざまなバリアに遭遇する。このようなバリアや路面から受ける振動は車いす使用者に不快感をもたらすだけではなく、疲労や慢性の腰痛・頸痛さらにはヘルニアや脊椎の変性などの二次障害をもたらす危険がある。

筆者らは屋内実験環境下における、凹凸路面や段差走行時の車いす使用者の身体振動や駆動トルクに

についての基礎的な研究<sup>1)</sup>や、歩車道境界縁石のユニバーサルデザインについても研究を進めている<sup>2)</sup>。

計測用車いすと振動計を用いて、主な道路環境を模擬した屋外のバリアフリー体験コースにおける実験と計測より、走行路面と車いす使用者の身体振動の評価について報告する。

## 2 実験手法

### 2.1 計測システム

実験は標準型手動車いすの構造特性を備えた、電動の走行環境計測用車いす（イマセン技研製REM-2004、6インチ・ウレタンキャスター、22インチ・エアタイヤ後輪）を用いた。車いす重量は約10kg、加速度センサなどセンサ類を含め約33kgである。

全身振動加速度の計測はRION製座席用ピックアップセンサ（PV-62）とX、Y、Z 3軸振動計（VM-54）を使用し、JIS B 7760-2（ISO 2631-1）全身振動-2部<sup>3)</sup>に規定される測定方法及び評価方法に従った。

### 2.2 被験者と計測方法

被験者は成人健常男性4名（平均体重73.0kg）と、JISに準拠した2種類のテストダミー（50kg、75kg）である<sup>4)</sup>。ダミー搭載時は実験者が操作し（図1）、被験者は自分自身で操作する（図2）。

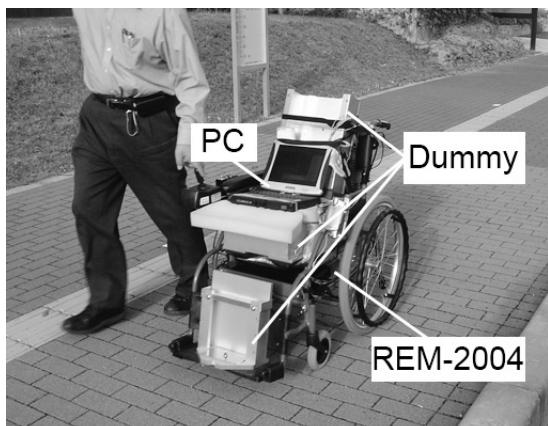


図1 走行環境計測用車いすとダミー  
Fig.1 Experimental wheelchair with dummy

図3に示すように車いすシート上に3軸振動計センサを、前後方向X、左右方向Y、垂直方向Zとなるように敷き、その上に被験者が着座する。振動測定はJIS B7760-2の手順に従い、周波数補正加速度データをサンプリング速度400Hzで計測した。



図2 走行環境計測用車いすと被験者  
Fig.2 Experimental wheelchair with subject

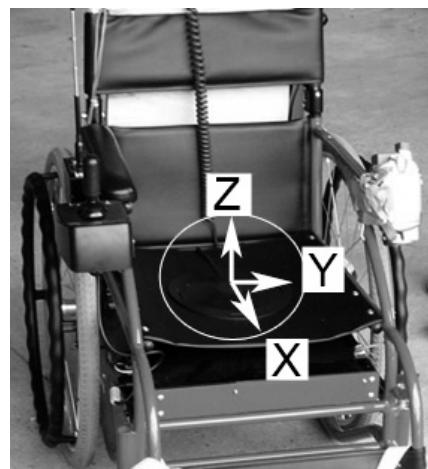


図3 車いす座面上の身体振動加速度計  
Fig.3 Whole-body vibration sensor on the seat

走行路は国土交通省近畿技術事務所構内に構築されている延長約200m、面積約750m<sup>2</sup>の「交通バリアフリー比較体験コース」を使用した（図4）。コースは主要な路面構造、勾配、歩車道境界縁石、視覚障害者誘導用・警告用ブロック、マンホール、グレーチングのほか、路面の凹凸などのバリアも適宜配置されている。

実験手順は以下のとおりである。

- (1) 体験コース周回実験では、被験者4名とダミー（50kg、75kg）は各1周、一定速度（時速6km）でコースを走行する。体験コースを便宜上3区間に分け、各区間の振動加速度を50秒間測定した。
- (2) 路面比較実験では被験者2名と50kgダミーにより、インターロッキングブロック（横置き、縦置き）、アスファルト、コンクリート（滑らか、荒れた）の路面において各5試行、10秒間測定した。

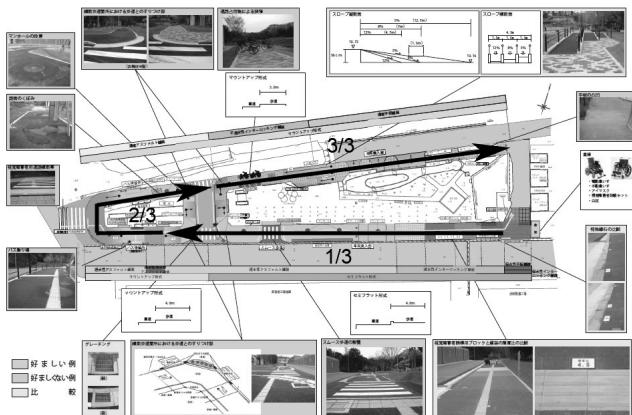


図4 交通バリアフリー比較体験コース  
Fig.4 Barrier-free experience course

### 3 実験結果と考察

#### 3.1 体験コース走行時の身体振動特性

図5は身体振動加速度計により計測された、第1区間の垂直振動加速度Zの波形例である。図6は走行中に時々刻々変化する路面状況に対応した振動特性を把握するため、図5の振動加速度から1秒間毎の実効値（RMS）を順次計算し、50秒間描画した移動RMS波形のデータ処理例である。

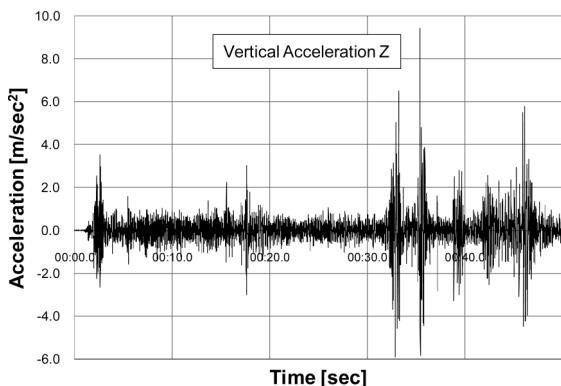


図5 垂直方向振動加速度Z波形（第1区間）  
Fig.5 Vertical acceleration Z (First stage)

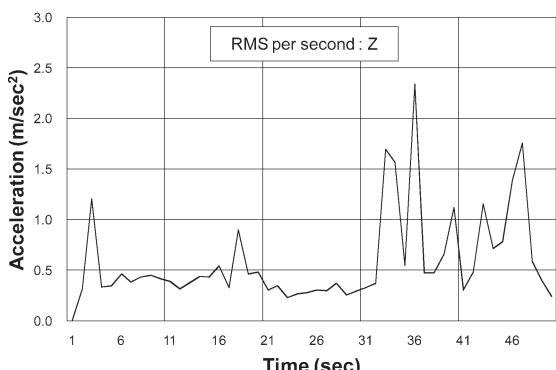


図6 振動加速度Zの1秒毎RMS波形（第1区間）  
Fig.6 RMS per second of Z (First stage)

身体振動計測結果の代表例として、図7～15に被験者A（身長175cm、体重70kg）と75kgダミー搭載時の実験結果を示す。

#### (1) 1/3周回期（第1区間）振動加速度RMSと路面状況

図7に1/3周回期の主な路面環境を示す。図8、9は1/3周回期のRMS波形を示す。この区間では垂直方向加速度Zは1.0m/sec<sup>2</sup>を超える路面があり、進行方向X、左右方向Yに比べて大きな値を示す。X、Y加速度はおおむね0.5m/sec<sup>2</sup>以下である。路面により加速度の大きさに差が見られるが、人とダミーのRMS波形パターンは類似している。

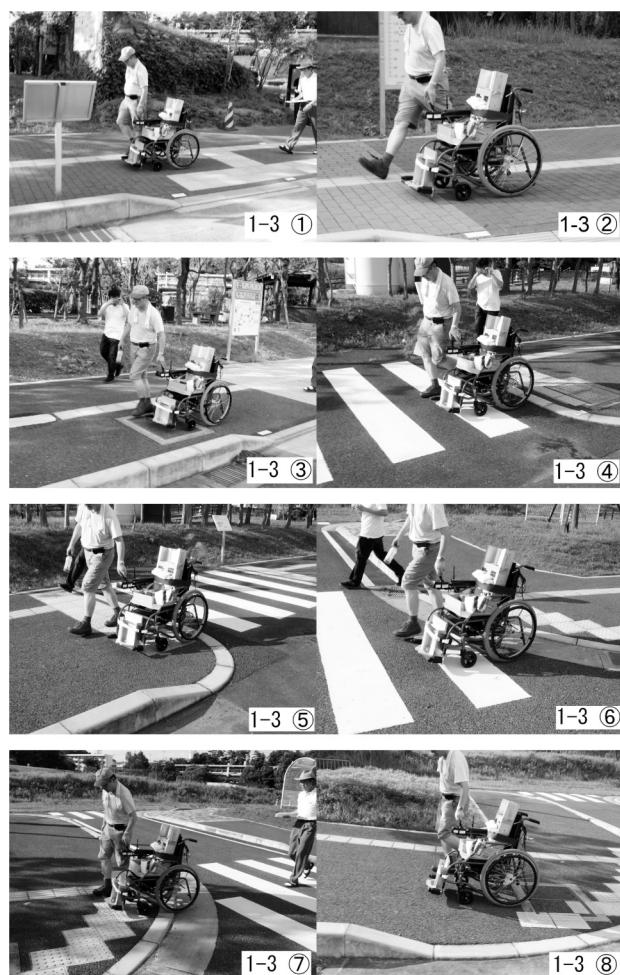


図7 第1区間の路面環境  
Fig.7 Road surfaces of the first stage

スタート直後に誘導ブロックを通過、インターロッキングブロック舗装を走行（図7①）、誘導ブロックを横断後、アスファルト舗装、車両乗入部とマンホールを通過後（図7③）、誘導ブロックを横断した。その際少し振動が大きくなかった（16-20秒近辺）。警告ブロックと段差2cmを通過してスムース横断歩道へ。

道を走行、直後段差 2 cm を上って警告ブロックを通過した（図 7 ④⑤）。この付近（31-40秒）では人とダミーとも  $2.0 \text{m/sec}^2$  を超える過大な振動が発生する。その後も横断歩道の縁石部（段差 1 cm、2 cm）の下り上りで大きな振動が生じた（43-49秒）。

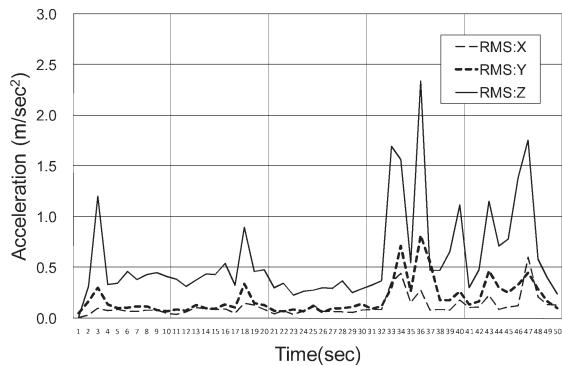


図8 第1区間の1秒毎RMS波形（被験者A）  
Fig.8 RMS/sec at 1st stage (subject A)

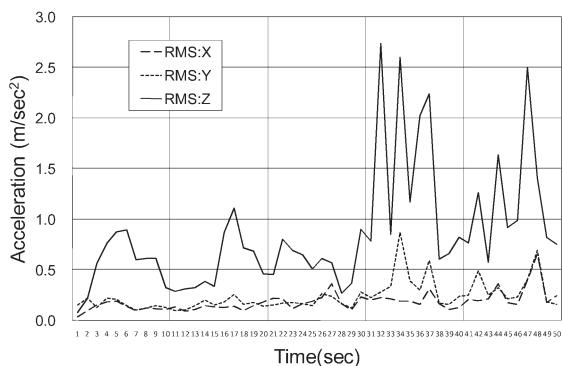


図9 第1区間の1秒毎RMS波形（ダミー）  
Fig.9 RMS/sec at 1st stage (Dummy)

## (2) 2/3周回期（第2区間）振動加速度RMSと路面状況

図10に2/3周回期の主な路面環境を示す。図11、12の2/3周回期は、人とダミーでは垂直方向Zの値に路面により大きな差が見られるが、X、Y方向を含めて全体としては類似した傾向がみられる。X、Y成分はダミーが若干大きな傾向を示すがおおむね  $0.5 \text{m/sec}^2$  以下の値である。

5%勾配のアスファルト舗装路を上り、誘導ブロックを横切った際に振動が発生した（4-7秒）（図10 ②）。アスファルト舗装の溝を通過した際と、誘導ブロック通過時に振動が大きくなる（11-17秒）（図10④）。誘導ブロック通過時加速度はダミーが  $1.5 \text{m/sec}^2$  以下であるが人は  $1.5 \text{m/sec}^2$  を超える大きな値を示す。

その後、横断歩道における誘導ブロック（25-27秒近辺）、バス停前の警告ブロック（ここではダミー

が人より大きい）とマンホール、すりつけ部（段差 0 cm）を下り（31-40秒）、横断歩道を渡り、縁石（段差 3 cm）直前で停止した（47秒近辺）（図10⑥⑦）。停止時に人では身体が前後左右に大きく振動し、XとYが大きなRMS値（ $1.0 \text{m/sec}^2$  前後）を示した。

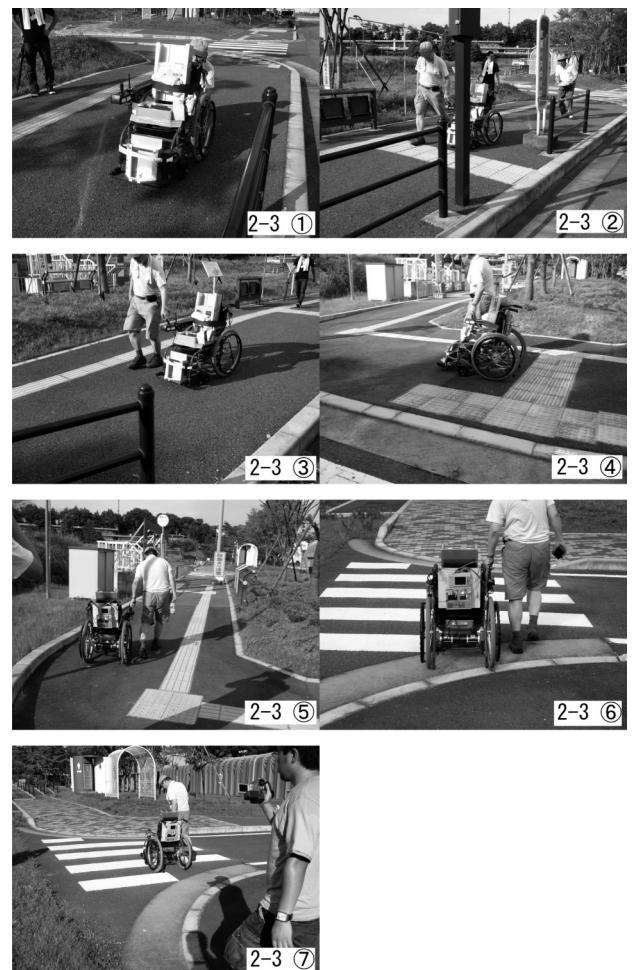


図10 第2区間の路面環境  
Fig.10 Road surfaces of the second stage

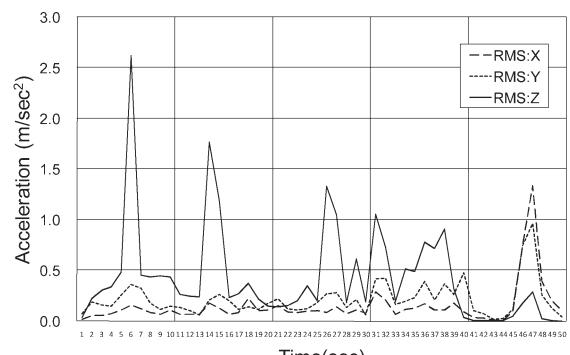


図11 第2区間の1秒毎RMS波形（被験者A）  
Fig.11 RMS/sec at 2nd stage (subject A)

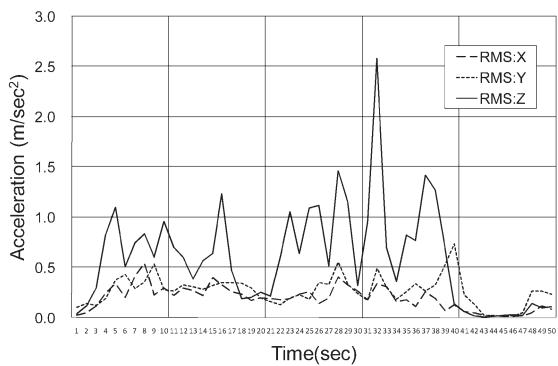


図12 第2区間の1秒毎RMS波形（ダミー）  
Fig.12 RMS/sec at 2nd stage (Dummy)

### (3) 3/3周回期（第3区間）振動加速度RMSと路面状況

図13に3/3周回期の主な路面環境を示す。図14、15の3/3周回期においても、人とダミーのRMS波形パターンは良い一致を示す。加速度はダミーのZが $1.5\text{m/sec}^2$ を超える大きな値を示す路面が見られる。

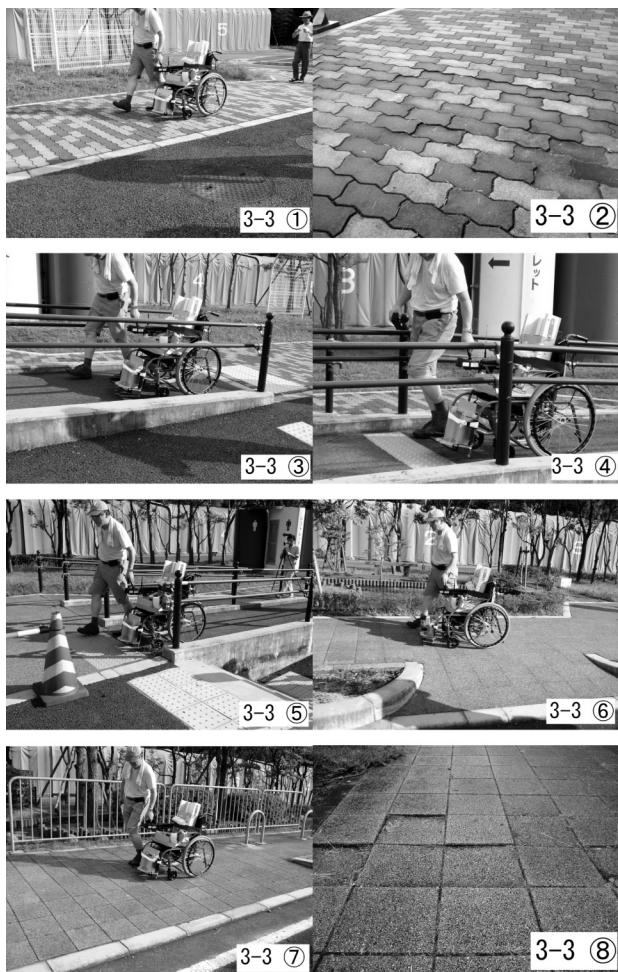


図13 第3区間の路面環境  
Fig.13 Road surfaces of the third stage

インターロッキングブロック舗装路（5%勾配上り）を走行後（図13①）、インターロッキングの凹凸路を通過した際、少し振動が増えた（5-7秒）。続いて勾配5%のアスファルトのスロープを通過（図13③④⑤）、スロープの開始・途中・終了に警告ブロックがあり、この3箇所で $1.0\text{m/sec}^2$ を超える大きな振動が発生した（ダミー：11-13、17-21、22-26秒）。その後、平板舗装の車両乗入部3箇所通過時には車いすが車道側に流される傾向がある。続いて平板舗装のはがれによる凹凸バリア（図13⑧）により振動の発生が見られた（43-49秒付近）。

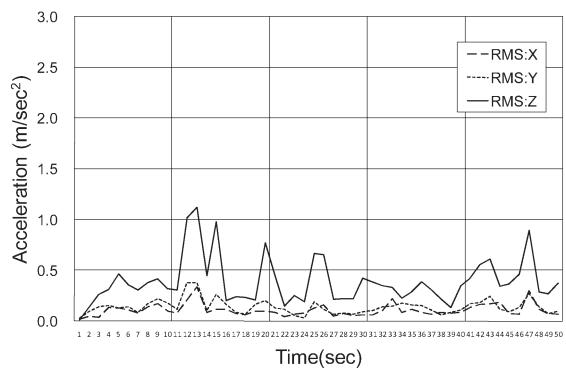


図14 第3区間の1秒毎RMS波形（被験者A）  
Fig.14 RMS/sec at 3rd stage (subject A)

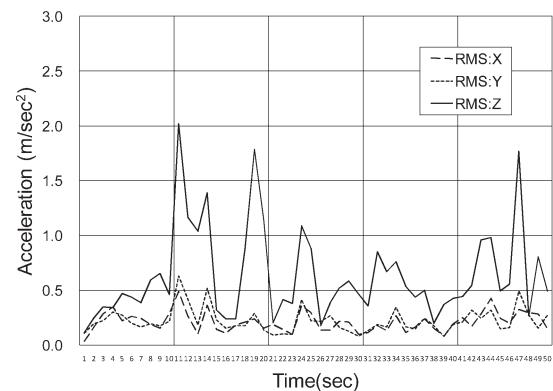


図15 第3区間の1秒毎RMS波形（ダミー）  
Fig.15 RMS/sec at 3rd stage (Dummy)

### (4) 区間別振動加速度RMSと被験者間の比較

1秒毎RMS加速度Zが $0.5\text{m/sec}^2$ を超える時間がかなり観測された。各区間の50秒間のRMSを比較した結果（図16）においても、第1及び第2区間の4名の被験者のRMSの値が $0.5\text{m/sec}^2$ を超える大きなRMS値が観察され、路面の影響により身体が大きな振動に暴露されていることが明らかになった。

JIS B7760-2では、全身振動暴露の強度として周波数補正加速度実効値が $1\text{m/sec}^2$ では4時間、 $0.5\text{m/sec}^2$ では8時間程度で健康危険領域に入ることが指摘されており<sup>3)</sup>十分な注意が必要である（図17）。

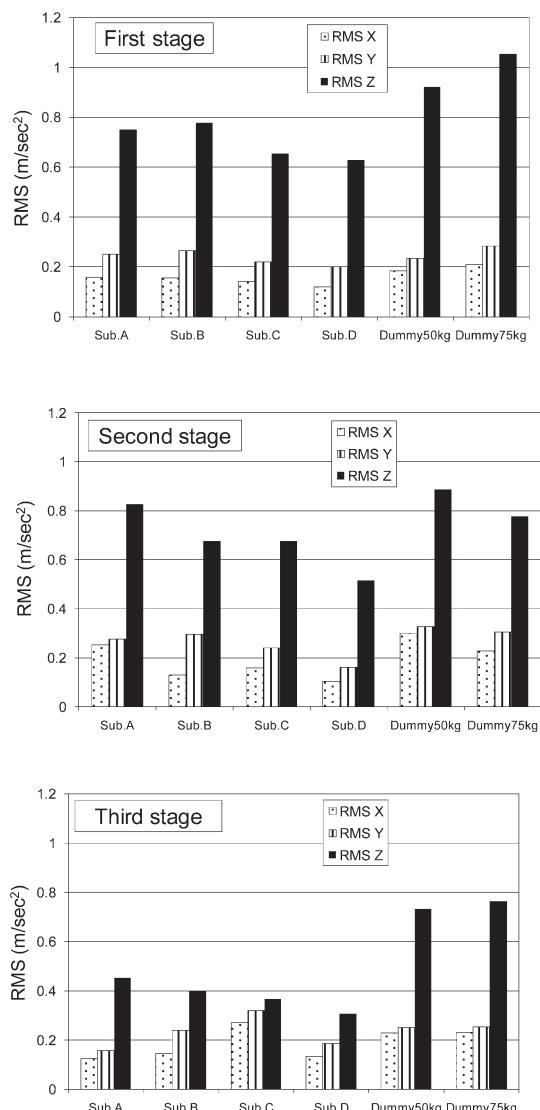


図16 各区間毎（50秒間）のRMSの比較  
Fig.16 RMS accelerations of each stages

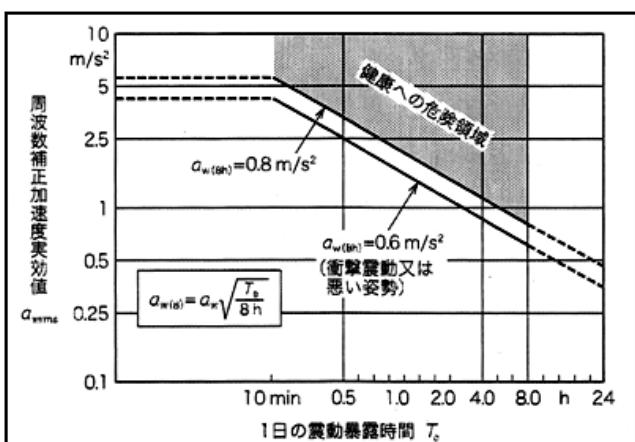


図17 全身振動の長期暴露後の健康危険領域  
Fig.17 RMS of whole-body vibration with reference to health

### 3.2 5種類の路面走行時の身体振動特性

路面間の詳細な比較を行うため、体験コースに設置されているインターロッキングブロックの横置き路面、同縦置き路面、コース脇の平坦なアスファルト路面、滑らかな表面のコンクリート路面、経時変化により路面が荒れたコンクリートの5種類の路面について振動加速度を計測した（図18）。被験者は健常者2名（B：身長167cm、体重66kg、C：身長170cm、体重73kg）と50kgのダミーである。

被験者Bはインターロッキングブロック横置き（目地間隔が短い）と縦置き（目地間隔が長い）の2種類を、被験者Cはアスファルト、滑らかなコンクリート、荒れたコンクリートの3種類を計測した。

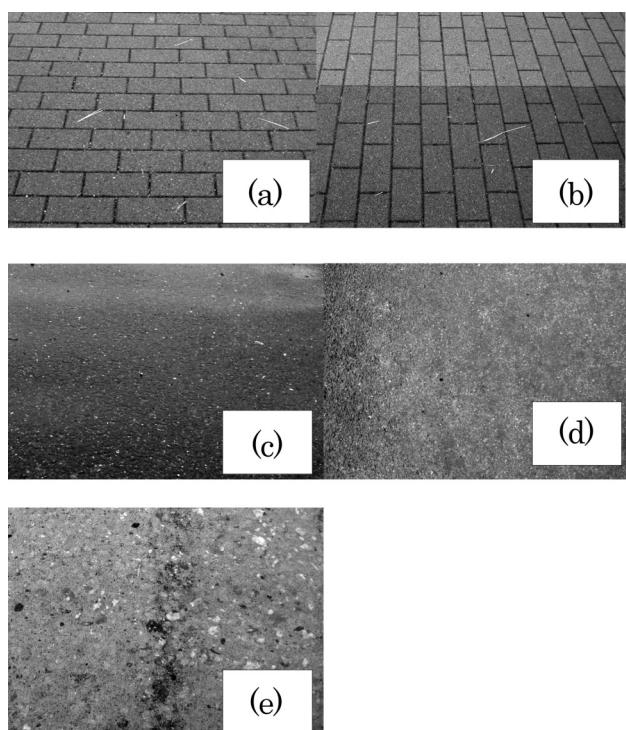


図18 5種類の振動計測対象路面  
Fig.18 Five road surfaces that were tested  
Interlocking block set in transversal (a),  
Interlocking block set in longitudinal (b),  
Asphalt (c), Smooth (d) and Rough (e) concrete

#### (1) 振動加速度RMSと路面

10秒間のRMS値を5試行分平均処理した結果を図19、20に示す。人の場合はXのRMS値が0.07～0.12m/sec²と小さく、Yが各路面とも少し大きい傾向0.1～0.17m/sec²を示す。X、Yに比較して垂直方向ZのRMS値はやや大きいが、各平均値は0.2～0.36m/sec²に納まっている（図19）。

ダミーでは、XとYのRMS値はほぼ同等の約0.17m/sec²（ブロック横置き）か、X（0.13～0.17m/sec²）よりYが少し小さい傾向（0.13～0.15m/sec²）を示

す。ZはX、Yの約4倍に達する大きなRMS値0.47～0.6m/sec<sup>2</sup>を示す（図20）。

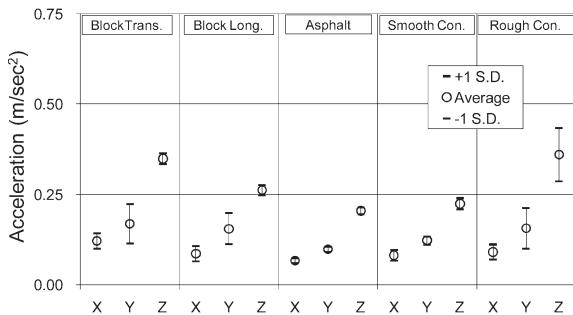


図19 RMS振動加速度の比較（被験者B, C）

Fig.19 RMS accelerations of the surfaces (subjects: B, C)

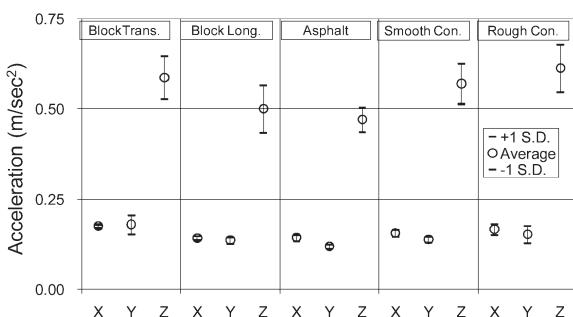


図20 RMS振動加速度の比較（ダミー）

Fig.20 RMS accelerations of the surfaces (Dummy)

垂直方向Zの振動加速度RMS値は、人ではアスファルト<滑らかなコンクリート<インターロッキングブロック縦置き（目地間隔が長い）<ブロック横置き（目地間隔が短い）<荒れた路面のコンクリートの順に大きくなる。

ダミーでは、インターロッキングブロック縦置き<滑らかなコンクリートとなり、順番が異なっているが、人とダミーの路面間のRMS値の傾向は良く一致している。

## (2) 振動加速度周波数特性と路面

各1試行データの計測終了前2048点のデータ（約5秒）でダミーZ方向加速度の周波数分析を行った（ソフトウェアIGOR、Hanningウインドウを適用、パワースペクトルはマグニチュード2乗）（図21）。

今回計測した振動加速度データは周波数補正が施されており、座位姿勢において人体の健康に影響を与える1～10数Hzの周波数領域のデータのみが抽出されている。

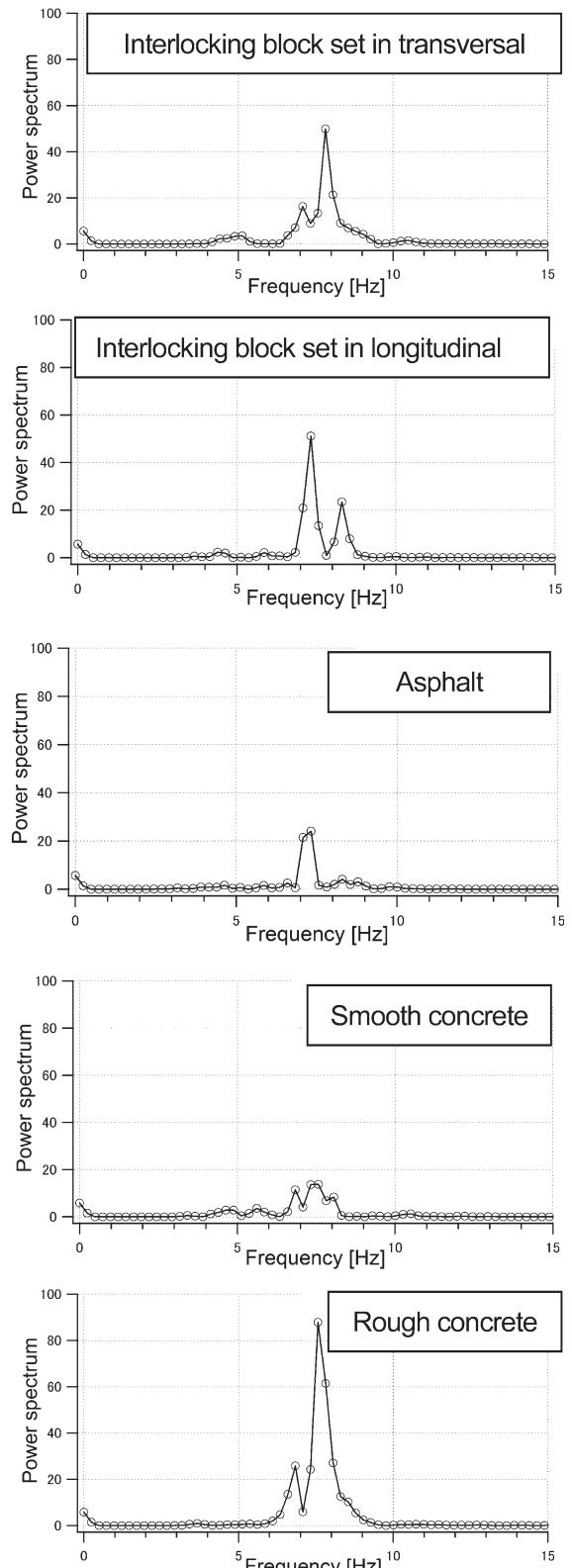


図21 振動加速度Zのパワースペクトル比較（ダミー）

Fig.21 Power spectrum of accelerations Z (Dummy)

いずれの路面においてもパワーの卓越が見られるのは、5～10Hzの周波数領域である。パワーの最大値を比較すると、一番小さいのが滑らかなコンクリートでパワースペクトル約15、アスファルト約25、

インターロッキングブロックは横置きと縦置きがほぼ等しく約50、そして荒れたコンクリートが最大値約90をとる。

路面が平坦な滑らかなコンクリートやアスファルトと比較すると目地のあるインターロッキングブロックのパワースペクトルが約2倍の大きさである。

また、最大パワーが出現する時の周波数は、各路面とも7.5Hz付近に集中しておりばらつきが少ない。インターロッキングブロックでは横置きと縦置きではブロックの目地間距離が異なるため、横置きでは若干周波数が高いがその差はわずかである。

人体の機械的振動モデル<sup>7)</sup>では、座位姿勢における腹部の固有振動数は約4～8Hz、頭部は約25Hzと推定されている（図22）。今回いずれの路面でも約7.5Hz近辺においてパワーの卓越が見られたことにより、人体の循環器、呼吸器、消化器ほか腰椎等への悪い影響が懸念される。

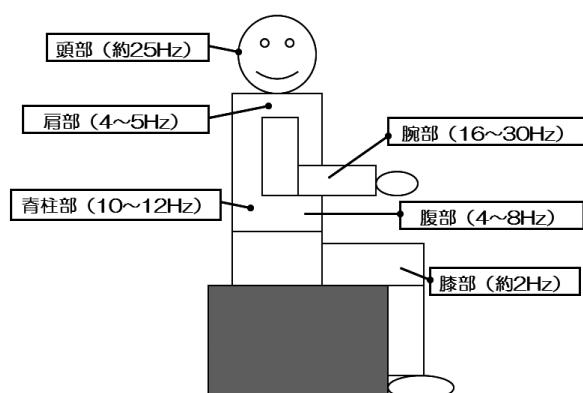


図22 人体主要部位の固有振動数  
Fig.22 Characteristic frequency of human body

#### 4まとめ

体験コースにおける実験結果から、身体振動加速度と画像情報よりX、Y、Zの1秒毎移動RMS値は車いすが走行する路面状況を的確に反映することが明らかになった。一般的な道路環境においても、車いすが歩道を走行する時には、車いす使用者は連続的な身体振動に暴露され、段差通過時などには衝撃的な振動に暴露されていることが明らかになった。

体験コースと路面間比較の双方において人とダミーの両者とも垂直方向ZのRMS値が前後方向X、左右方向Yより大きい傾向を示した。X、Y成分は振動加速度の値やパターンが全路面条件において、Y成分がやや大きな値を示すが全体として類似した傾向を示す。

体験コース走行時の1秒毎移動RMS値と、路面間RMS値の実験結果より、大きさに差はみられるものの、人とダミーのRMS値の傾向は良い一致を示すことが確認された。このことは、ダミーの振動計測により人体への振動の影響を推測できる可能性を示唆している。しかし本実験で使用したダミーは車いすの耐久試験用であり、頭部と腕部がなく、胴体と脚部が分離している。従って、より人体の構造に近いダミーを用いた実験も必要と思われる。

身体への振動は健康に危害を及ぼす危険がある。JIS B7760-2では、全身振動暴露の強度として周波数補正加速度実効値が1m/sec<sup>2</sup>で4時間、0.5m/sec<sup>2</sup>で8時間程度で健康危険領域に入ることが指摘されている。今回のバリアフリー体験コースでは、垂直振動加速度Zが0.5m/sec<sup>2</sup>を超える時間がかなりあり、また短時間ではあるが視覚障害者誘導・警告ブロック上を通過した時や、縁石通過時には1.5m/sec<sup>2</sup>を超える大きなRMS値が観察された。

これまであまり着目されていなかった道路環境が及ぼす車いす使用者の身体振動への影響については今後特に注意を払う必要がある。身体振動による二次障害の危険性を排除し、安全で快適な車いす走行環境を実現するために路面環境の整備と、車いす構造の両面から継続して研究することが重要である。

#### 謝辞

今回の実験は、国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所の協力により実施した。末尾ながら関係者に謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 橋詰努、高見正利ほか：走行中の車いすの身体振動に関する研究、日本機械学会ロボティクス・メカトニクス部門講演会論文集、1A2-M06 (CD)、2007
- 2) 高見正利、橋詰努ほか：路面状態が車いす走行に及ぼす影響について；駆動力と振動の評価、第22回リハ工学カンファレンス論文集、pp.121-122、2007
- 3) JIS B 7760-2 全身振動-2部 測定方法及び評価に関する基本的要件、日本規格協会、2005
- 4) JIS T 9203 電動車いす、日本規格協会、2006
- 5) 橋詰努、北川博巳、高見正利ほか4名：車いす使用者が安全で快適に走行できる道路環境の研究－車いす使用者の身体振動の計測と評価－、日本福祉のまちづくり学会、第11回全国大会概要集、pp.1-4、2008
- 6) 橋詰努、北川博巳、高見正利ほか4名：車いす使用者の身体振動特性と道路環境の研究、日本機械学会福祉工学シンポジウム2008、講演論文集、pp.58-61、2008
- 7) 鈴木浩明：快適さを測る、日本出版サービス、1999