

車椅子走行における振動特性と乗り心地の関係について
— 一体圧分布と乗車姿勢、人体(内臓)の固有振動との関係に着目して —

On the characteristic of vibration in a running wheelchair and riding comfort for the user
— aiming at the relationship between the hip-pressure, taking posture and natural frequency in the body —

苫小牧工業高等専門学校	環境都市工学科	正 員	澤田 知之 (Tomoyuki Sawada)
苫小牧工業高等専門学校	環境システム工学専攻	学生員	中村 愛子 (Aiko Nakamura)
苫小牧工業高等専門学校	環境都市工学科	○学生員	国崎 翠 (Midori Kunisaki)
苫小牧工業高等専門学校	機械工学科		小島洋一郎 (Yohichiro Kojima)
苫小牧工業高等専門学校	環境都市工学科	正 員	近藤 崇 (Takashi Kondo)
苫小牧工業高等専門学校	環境都市工学科		島津 冬馬 (Touma Shimadu)

1. はじめに

日本の高齢化率は今後も上昇を続け、加えて事故や災害件数の増加により、車椅子の需要は今後ますます増加するものと考えられる。

そこで、車椅子走行時の車椅子に発生する振動の強弱や周波数の差違、車椅子乗車者の体重移動が、利用者の乗り心地へどのような影響を及ぼすのか関連性を見出すことは、ノーマライゼーションの促進やQOL(Quality of Life)向上の観点において今後重要な結果となり得る。本研究では、車椅子乗車時における工学(振動・体圧分布)と感性(乗り心地)の関係性について検討することを目的とする。

本報告は既往の研究結果を踏まえ、「車椅子の駆動条件の違による段差走の検討」について考察したもので、特に人体(内臓)の共振振動数にも着目したものである。

2. 実験方法

実験に使用した車椅子は、一般的に使用されている介助者による介助走行である**手動型車椅子**(以下「手動型」、KAWAMURA スチール製車椅子 KA-202 重量:14.3kg、写真-1(a))と**電動車椅子**(以下「電動型」、日進医療器 軽量電動車椅子 iR-Li 重量:23.8kg、図-1(b))とした。また、怪我などで一時的に利用する「**一時利用者**」を想定し、本校学生を被験者として実験を行っていたが、車椅子利用者の多くは身体に何らかの障害を持ち、日常的に車椅子を利用する「**常時利用者**」である。そこで、苫小牧市身体障害者福祉センターで車椅子常時利用者の方々に御協力を頂いて実験を行い、車椅子利用者の身体状況・車椅利用頻度による乗り心地の違いの検討も行った。

走行路は「**平坦路**」と輪だちを想定した「**二段差路**」とし、走行距離は20m、移送速度は医療施設等で採用されている一般的な走行速度90歩/分(約0.7m/s)で行った。

加速度測定は車椅子側板に取り付けた三軸加速度測定器により測定し、体圧は車椅子座面に体圧シートを設置し、乗車者の臀部圧力を測定することで体重移動

を測定した。また、走行後に官能評価のSD法によるアンケート調査を行った。



(a)手動型車椅子 (b)電動車椅子
写真-1 実験に使用した車椅子



写真-2 加速度測定器 写真-3 体圧シート

表-1 実験条件

実験場所		・苫小牧市身体障害者福祉センター ・体育館苫小牧工業高等専門学校環境都市工学科棟1階廊下
走行路 (共に20m)		・平坦路 ・二段差路:中間10m地点に段差(15×92×1.5cmの直方体の板)を1.75mの間隔で設置
被験者	1)加速度測定	・常時利用者:車椅子利用者8名 ・一時利用者:本校学生5名
	2)体圧測定	加速度測定の乗車者と同じ
	3)アンケート調査	・常時利用者:車椅子利用者8名 30~40代 ・一時利用者:本校学生・教職員 30名 10~40代

3. 車椅子に発生する振動

3.1 振動の評価

車椅子側面に設置した加速度測定器の測定方向は図－1の通りである。図－1～4には加速度測定結果にFFT解析結果を行った結果を示す。また、図は顕著に表われた上下振動である Y 方向を示し、横軸は振動数の Frequency(Hz)と表示した。波形で囲まれた面積は振動量を示す。図中の数値は、卓越周期を示している。

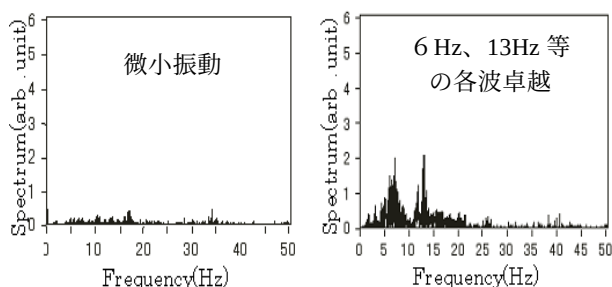


図－1 加速度測定器測定方向

3.2 実験結果

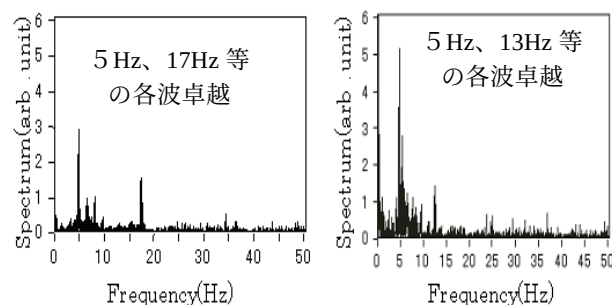
3.2.1 平坦路

平坦路では、手動型の一時利用者は 5～7Hz、13Hz、電動型の常時利用者・一時利用者共に 5Hz 及び 15Hz 近傍の周波数が卓越していた。この電動型で発生している 5Hz の周波数は電動型車椅子の固有振動数と考えられる。また、発生振動量の小さい順に並べると、手動型常時利用者、電動型常時利用者、手動型一時利用者、電動型一時利用者となった。電動型よりも手動型、一時利用者よりも常時利用者の方が発生振動量は少ない結果となった。



(a) 常時利用者 (b) 一時利用者

図－1 手動型車椅子（平坦路）



(a) 常時利用者 (b) 一時利用者

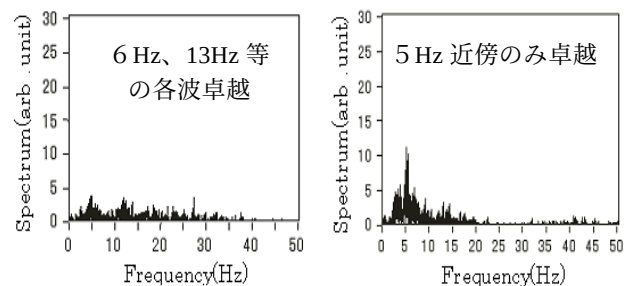
図－2 電動型車椅子（平坦路）

表－2 発生振動量（平坦路）

発生振動量 単位	手動型車椅子		電動型車椅子	
	常時	一時	常時	一時
発生振動量 (gal・m)	7.05	10.05	9.86	17.87

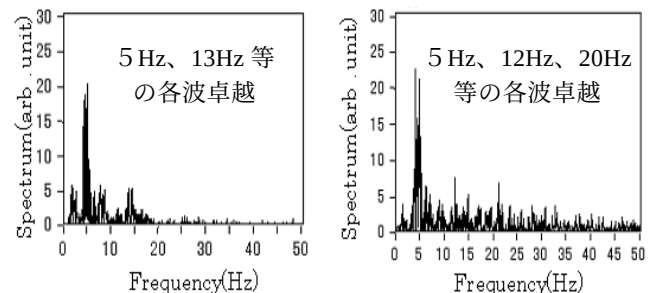
3.2.2 二段差路

電動型の常時利用者・一時利用者共に電動型の固有振動数である 5Hz 及び 3Hz、15Hz、20Hz 等、各周波数に卓越が見られた。一方、手動型一時利用者では、人体（内臓）の共振振動⁵⁾となる 5Hz 付近のみの卓越が見られた。電動型の方が手動型に比べて発生振動量は常時利用者・一時利用者共に 2 倍以上になった。これは、電動型は自走式のため乗車者が段差を自認し速度を落とすことなく段差に進入し、かなり衝撃的な段差乗り越えを行ったため振動量が多く表われたと考えられる。手動型は段差進入時、介助者が「段差です。」と声を掛け、フットペダルを踏んで段差を乗り越えるため、振動量は抑えられたと考えられる。



(a) 常時利用者 (b) 一時利用者

図－3 手動型車椅子（二段差路）



(a) 常時利用者 (b) 一時利用者

図－4 電動型車椅子（二段差路）

表－3 発生振動量（二段差路）

発生振動量 単位	手動型車椅子		電動型車椅子	
	常時	一時	常時	一時
発生振動量 (gal・m)	654.75	762.75	1787.16	1954.28

4. 車椅子乗車者の体重移動の評価

4.1 体圧の評価

ここでは乗車者の体重によって車椅子の座面にかかる圧力を「体圧」と表記する。

体圧シートで得られるデータはセルの色によって荷重の大小が表されている。本稿では体圧の経時変化で記録し、以下に示す2つの部位に分けて検討を行った。

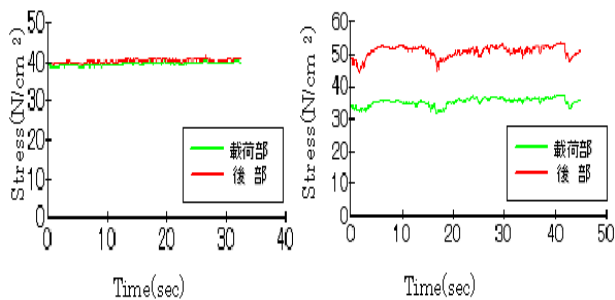
(1) 載荷部：座面のうち、荷重が集中する部分に着目し、そこにかかる荷重をその面積で除した圧力が発生する部分。

(2) 後部：座面のうち、乗車者の臀部から尾てい骨にかけての部分にかかる荷重をその部分の面積で除した圧力が発生する部分。

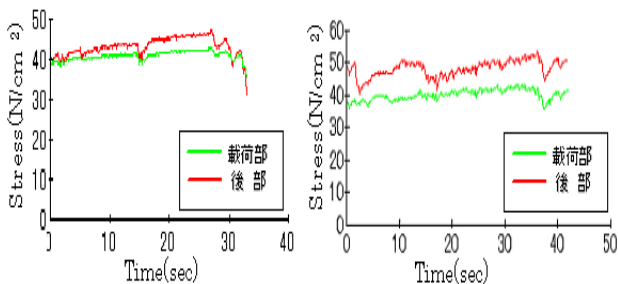
4.2 実験結果

4.2.1 平坦路

平坦路において、手動型車椅子・電動型車椅子共に常時利用者は載荷部と後部の体圧が一致していた。このことから、どちらの種類の車椅子に乗っても、常時利用者は腰掛けた際の載荷部における後部体圧の占める割合が大きく、深く腰を掛けて垂直な姿勢で乗車していることが分かった。一方、一時利用者は載荷部よりも後部の方が圧力大きかったことから、バックレストにより掛かり、後ろに反ったリラックス姿勢で乗車していることがうかがえる。次に、それぞれの被験者の手動型車椅子と電動型車椅子による座面にかかる圧力値は時間と共に変化することはなく、一定値を保つ状態が続き、差がなかった。つまり、平坦路走行においては乗車の姿勢のみが異なり、手動型車椅子と電動型車椅子の両種類共に乗車者の手すりやフットレストへの荷重分散や抜重など、体重移動の現象は見られなかった。平坦路走行においては、非常に安定走行になることが示された。



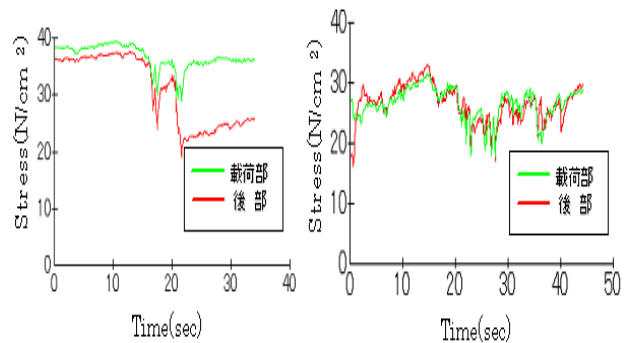
(a) 常時利用者 (b) 一時利用者
図-5 手動型車椅子 (平坦路)



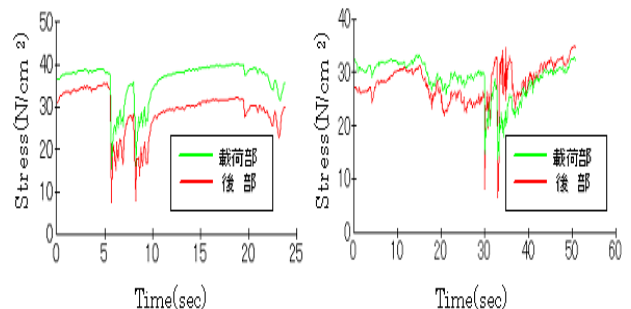
(a) 常時利用者 (b) 一時利用者
図-6 電動型車椅子 (平坦路)

4.2.2 二段差路

二段差路では、段差を越える瞬間、フットレストや手すりに体重が分散し、急激に圧力が低下する「抜重状態」が段差越えの二箇所に見られた。この段差を乗り越える部分に着目すると、一時利用者は段差を乗り越えた後、乗り越える前の体圧に瞬間的に戻るのに対し、常時利用者は段差を乗り越えてからも、段差乗り越え前の体圧に戻るために3～5秒程の時間を要していることが分かった。これは載荷部よりも後部の方が顕著であることから、座面に対する臀部の接着面積が小さい程、この傾向が顕著であると考えられる。これは、一時利用者は運動機能が大きく、座面の接着面積は少なく済むことを示している。また、平坦路走行では常時利用者の方が一時利用者に比べ深く腰をかけて乗車していると考えしたが、二段差路走行においては比較的一時利用者の方が載荷部と後部の圧力が一致している。着座した際の臀部全体での車椅子座席に対する平均載荷応力を「載荷部」(図中緑色線)と表したものと、座った臀部の後部における平均応力の「後部」(図中赤線)が近似しており、体重のずれが発生せず、深く腰掛けて垂直な乗車姿勢がうかがえる。これは、二段差路走行という比較的緊張感を伴う走行において、乗り慣れていない一時利用者の真剣な乗車姿勢が想像される。その一方で乗り慣れている常時利用者の場合は後部(図中赤線)より載荷部の方が大きく表われている。このことは、着座している前方向に大きな荷重があることを示しており、座る姿勢が前かがみになっていることを示している。よって乗車者(常時利用者)は、二段差乗り越えの衝撃を上手く緩和させようとする乗車姿勢となっていることが分かる。



(a) 常時利用者 (b) 一時利用者
図-7 手動型車椅子 (二段差路)



(a) 常時利用者 (b) 一時利用者
図-8 電動型車椅子 (二段差路)

5. 感性の評価

5.1 アンケート

本報告に用いたアンケートは SD 法によるものである。

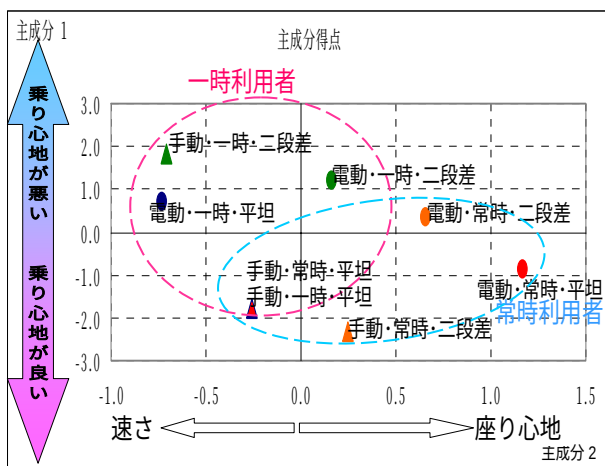
実際に用いたアンケートの項目は「不安定－安定」，「速い－遅い」，「危険－安全」，「不快－快適」，「揺れが強い－弱い」，「座り心地が悪い－良い」，「怖い－安心」の7項目の対句となっている。各項目において1～5の5段階で点数を付けて数値化して、主成分分析を行った。

5.2 実験結果

図－9に主成分分析結果を示す。この図において、縦軸は総合力、即ち乗り心地を判定するものであって図中の点は各条件下での分析結果の平均値を示している。

図－9より、電動型車椅子における各条件の走行では、縦軸で見ると、乗り心地が良くも悪くもないという中央付近に分布していることが分かった。一方、手動型車椅子では一時利用者の二段差路走行が一番乗り心地が悪く、常時利用者の二段差路走行で一番乗り心地が良いという結果となった。これは、電動車椅子はジョイスティックでの自走式のため、安心感を持って走行できる。一方、手動型車椅子は介助者による介助走行であるため、介助者の影響があると考えられる。さらに、横軸の第2主成分から、常時利用者と一時利用者の比較より、常時利用者は図－9の右領域に分布している。これは、「座り心地」が大きく関与していることを示していて、日常的に使用している車椅子ではなく、実験用の車椅子に乗り換えて実験を行ったため、乗り慣れない感を感じたと考えられる。また、一時利用者は図－9の左領域に分布している。これは、一時利用者にとって「速さ」が乗り心地に大きく影響することを示している。

既往の研究から、一般的に発生振動量・体重移動が少ない方が乗り心地が良いという傾向にあった。しかし、本報告では手動型車椅子の一時利用者、二段差路走行において発生振動量・体重移動がさほど多くないにも関わらず、乗り心地は各条件で一番乗り心地が悪いという結果となった。これは、発生している振動が5Hzに卓越していて、人体（内臓）の固有振動数である5～8Hz⁵⁾に属している。よって、人体（内臓）との共振振動を発生する場合、乗り心地に大きく影響するものと考えられる。



図－9 主成分分析結果

6. まとめと今後の課題

(1)発生振動量・体重移動が少なくても、人体（内臓）の固有振動数である5～8Hzの振動特性となる走行は、共振振動を発生し、乗り心地は悪くなる。

(2)ジョイスティックによる自走式の電動型は、段差を自認してスピードを落とすことなく、段差にかなり衝撃的な走行をするが、介助者が段差確認を伝えながら介助走行をする手動型の方が乗り心地は良いという結果となった。

今後は、より多くのデータを収集することでパターン認識が可能となることを目標に検討を行っていく予定である。

謝辞

本研究における走行実験の際、苫小牧市福祉協議会の岸波さとこ氏、及び苫小牧身体障害者福祉センターの皆様のご協力を得た。ここに記して深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：高齢者、身体障害者等の公共交通機関を利用した移動等の円滑化の促進に関する法律，
- 2) E. ORAN BRIGHAM：高速フーリエ変換、科学技術出版社、pp.166-182,1978.
- 3) 大崎順彦：地震動のスペクトル解析入門、鹿島出版会、pp.43-126,1978
- 4) 菅民郎：Excel で学ぶ多変量解析入門、オーム社、pp.18-26,97-107,175-202,2002
- 5) 岡本美好、深田直紘：車いすの振動加速度計を用いた歩道路面凹凸の評価に関する研究、土木学会舗装工学論文集、第9巻、2004.
- 6) 小島洋一郎、澤田知之、中村愛子：3軸加速度計による車椅子の振動評価と乗り心地、日本感性工学会、11回日本感性工学会大会予稿集、P49,2009
- 7) 澤田知之、小島洋一郎、中村愛子、近藤崇：車椅子の走行条件の違いによる振動と乗り心地の検討、苫小牧工業高等専門学校紀要第45号、2009
- 8) 澤田知之、中村愛子、小島洋一郎、国崎翠、近藤崇：手動型と電動型車椅子の段差走行における振動特性と乗り心地の評価、土木学会、第65回土木学会全国大会予稿集、I-488,2010
- 9) 澤田知之、中村愛子、小島洋一郎、国崎翠、中村充美、渡辺真由実：車椅子の乗り心地評価と振動特性・体圧分布との関係について、第12回日本感性工学会大会予稿集、3H1-7,2010