車椅子の段差乗り越え時に発生する振動と体圧変化の検討

A study for the vibration of a wheelchair and movement of body pressure in case of crossing difference in level

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　伊藤　大輔(Daisuke Itoh)
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)
東京水道サービス株式会社　中村　充美(Mutumi Nakamura)

1.はじめに

21 世紀を迎えた我が国は、諸外国でも類を見ないほどの高齢化社会を迎えようとしている。2015 年には 4 人に 1 人が 65 歳以上の高齢者となることが推計されており、高齢者に配慮した街づくりが求められている。これに先駆け平成 12 年には交通バリアフリー法が施行されたが、未だ万全とは言いがたい。高齢者や障害者にとって、車椅子は生活をする上で重要なものであり、今後車椅子の需要は益々増大すると考えられる。このことから本研究では、車椅子の振動と利用者の感性の間に生じる関連性を見出すことを目的としてきた。

本報告では車椅子走行時に遭遇するであろう段差が、乗車者にどのように影響を与えるのかを振動、体圧、感性の点から検討し、それらが相互にどのように関係があるのか評価を行う。今回は 20m の走行路の中途に、高さ 1.5cm、2cm、3cm の三つの段差をそれぞれ別々に設け、発生する振動の性質を検討した。また耐圧シートを用いて、段差の有無によって乗車者が受ける圧力変化を検討する。

2.実験方法

本実験で用いた車椅子（KAWMURA スチール製車椅子 KA-202S）は一般的に使用されている車椅子である。走行路に高さ 1.5cm、2cm、3cm の 3 種類の段差(図-4)を設けて走行実験を行い、発生する振動を計測した。段差の形状は、縦 15cm 横 92cm の直方体とする。走行実験は人が乗った状態の乗車走行、人の乗らない空車走行についてそれぞれ行い、走行速度は約 90 歩／分に設定した。測定距離は 20m とする。車椅子に生じる進行・水平・鉛直それぞれ 3 方向の加速度を、座席側面板に取り付けた 3 軸加速度計により測定した。また、体圧測定器(NITTA 圧力分布測定システム)を用いて段差の有無によって乗車者が車椅子座面に与える圧力値の変化を測定した。体圧測定実験に使用する段差は振動実験でも用いた 1.5cm の段差を使用する。

体圧は、図-5 に示したように、車椅子座面全体にかかる圧力を表した「全面」、進行方向に向かって座面後部、乗車者の腰元にかかる圧力を「後部」とした。全面の他に、後部の圧力を評価したのは、後部は車椅子走行時の加速度により、体の重心が前後に移動し、体圧の変化が表れやすいと考えられるからである。

図-1.車椅子

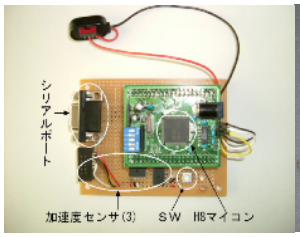

図-2.三軸加速度測定器

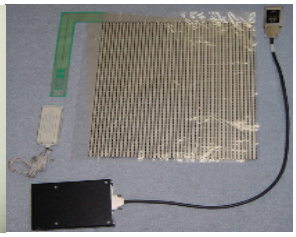
図-3.体圧測定器

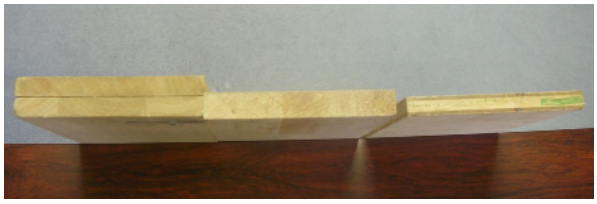
図-4.実験に用いた段差

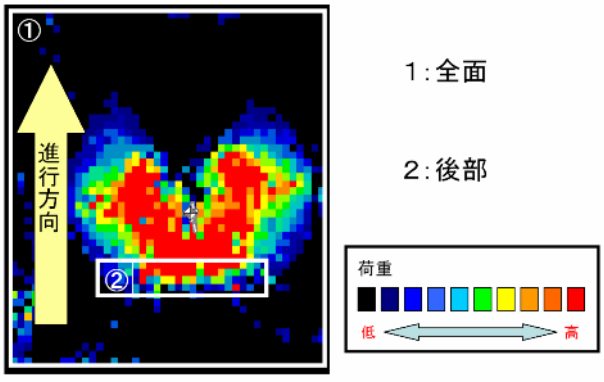

図-5.体圧測定

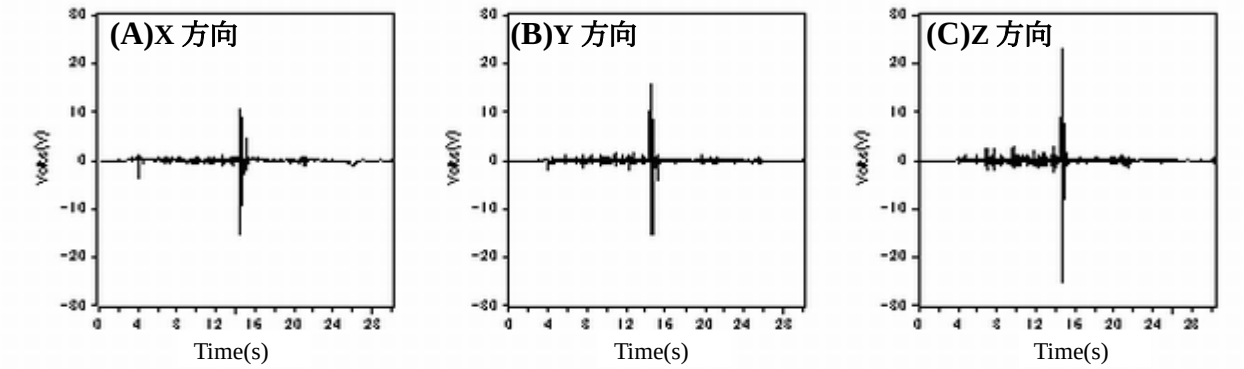

図-6.振動測定結果（段差 1.5㎝）

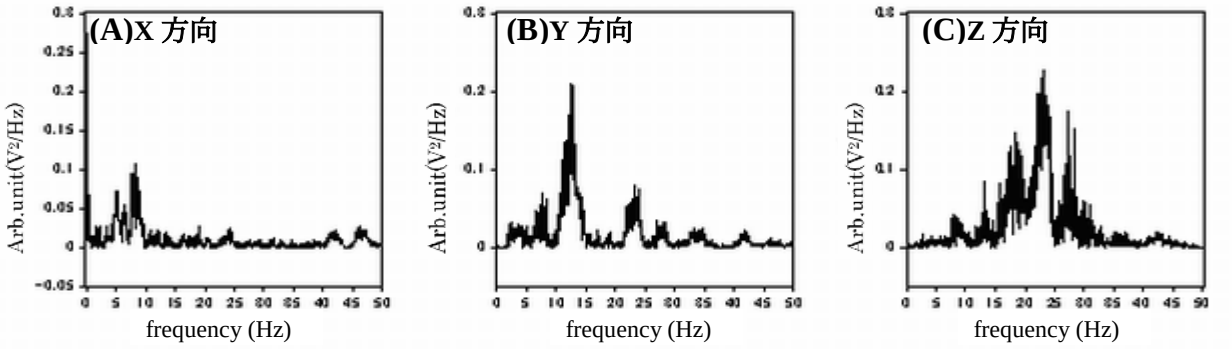

図-7.FFT 解析結果（段差 1.5㎝）

3.振動評価

進行方向を「X 方向」、水平方向を「Y 方向」鉛直方向を「Z 方向」と以下、明記する。

加速度計による車椅子振動の計測結果を図-6 に示す。図は段差 1.5㎝のものであるが、段差乗り越え時に大きな振動が発生して、中でも Z 方向の振動が最も大きく発生していることが見て取れる。これは他の段差でも同じ事が言え、X 方向、Y 方向の振動はわずかな差異はあるものの、ほぼ同程度である。

3.1 測定振動の評価方法

本実験ではこの振動の特性を評価するため、FFT（高速フーリエ変換）を用いた。加速度計で測定した信号の周波数成分を表し、これが乗り心地にどのように影響しているかを検討する。今回は、特にパワースペクトラムを用いた。これは、ある振動にどのような周波数の純波形が、それぞれどのくらいの強さで存在するかを表したもので、FFT の一般的な手法である。

3.2 FFT 解析による振動の評価

図-7 は図-6 で測定した段差 1.5ｃｍの振動波形を FFT 変換したものである。縦軸が振動のパワー(スペクトラム)を、横軸が周波数(Hz)を表す。「段差無し」では卓越した波形は見られず、ほぼ平坦な波形となっているため、図-7 の段差 1.5㎝ で卓越しているスペクトルは段差乗り越え時特有のものと考えられる。同様の操作を、図-8 に示す各条件でそれぞれ解析を行い、車椅子に発生した振動の評価を行った。

3.2.1 乗車者の有無による比較

乗車者の有無では、乗車者が無い方が車椅子に発生する振動波形は大きくなった。FFT 解析結果からは、ピーク値を示す周波数が、乗車者がいる時よりも無い時のほうが若干低くなる傾向にあることがわかった。

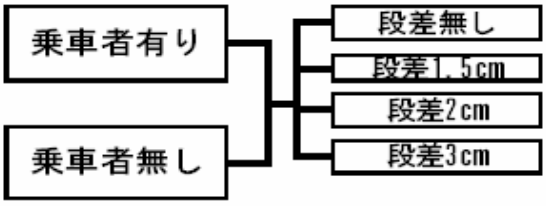

図-8.実験の種類

これは、乗車者がいることにより、振動の発生が抑えられ、また、発生する周波数の値に影響を与えたものと考えられる。

3.2.2 段差の高さの違いによる比較

今回は特に、段差の変化と振動との間に関連性があると考えられる、X 方向(図-6)と Z 方向(図-7)の振動の評価について報告する。図-9 に X 方向の解析結果、Z 方向の解析結果を示す。

X 方向の比較

X 方向の解析結果から、段差 2㎝(図-9(B))の 5Hz 付近でほかの段差と比べて大きく卓越した振動が発生していることが見て取れる。Z 方向では段差が大きくなるにつれて、縦軸のスペクトル値は大きくなる傾向にあるが、X 方向では段差 2㎝(図-6(B))のスペクトル値が大きく卓越している。このことから、段差 2㎝ では他の段差よりも進行方向で 5Hz 程の周波数を持つ加速度が多く発生しているということがわかる。図-10 に示したように、本実験で使用した車椅子の車輪の前輪の直径が 14㎝ である。車椅子が段差に載るまでに要する車輪の回転角は段差 1.5㎝ で 38 度、2㎝ で 46 度、3㎝ で 65 度だった。

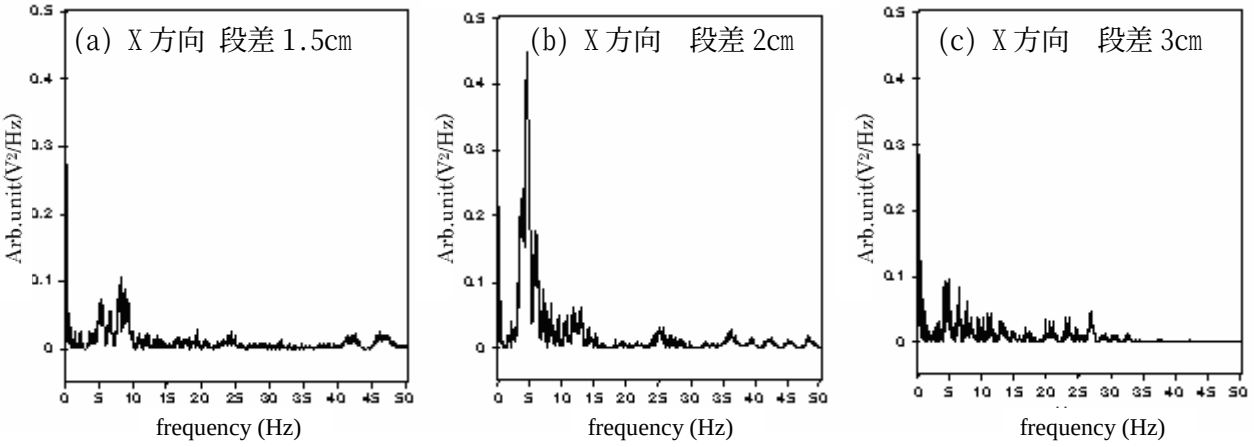

図-9.FFT 解析結果(X、Z 方向の比較)

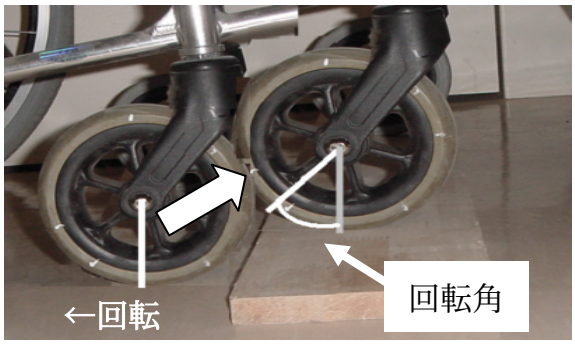

図-10．車輪の回転角

このように、段差乗り換えに要する回転角は段差が大きくなるにつれ大きくなり、直径 14cm の前輪では段差 3cm の乗り越え時に車輪の径に対して段差が高すぎ、段差を登る際に速度が段を登る力に消費され減少し、また降りるときも、車椅子は前方に加速するというよりも、垂直に落ちる形となり、一定の周波数領域に影響を与えたのではないかと考えられる。段差 2cm で一定の周波数が大きく現れたのは、段差の高さが車輪に対して、最も加速のつきやすい高さであったからだろう。

なお、車椅子の車輪を後輪ではなく、前輪の回転角としたのは、乗り越える際に段差に一番初めに接触するのが前輪であり、後輪に比べ径も小さいことから、段差の乗り越えが困難であり、振動の発生に大きく影響すると考えられるからである。

Z 方向の比較

図-9(d~f)に示したZ方向の振動の FFT 解析結果を見てみると、解析波形の面積、ピーク値が共に、段差の高さに比例して大きくなっていることがわかる。ここで、波形の面積は振動量、ピーク値は発生頻度の高さを表しているので、図-9(d~f)から、段差の高さが大きくなるにつれて、車椅子に発生する振動量が大きくなり、ピーク値を示す周波数の発生頻度が高くなっていることがわかる。ピーク値を示す周波数自体も、段差の高さと共に変化している。発生する振動量のピーク値の推移を、図-11 に示す。

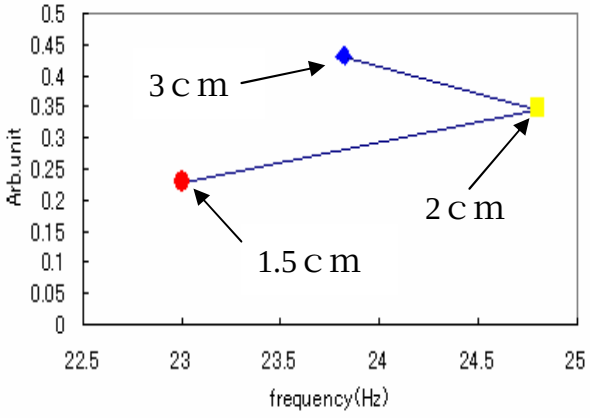

図-11．　段差の違いによるピーク値の推移

ピーク値を示した周波数は段差 1.5cm で 23.0Hz、2cm で 24.8Hz、3cm で 24.0Hz と推移しており、このような推移をしたのには X 方向の解析結果と同様に、段差の高さと前輪の径が関係している(図-10)ことが考えられる。段差 3cm では、段を登る時には車椅子介助者には 2cm 以下の段差の時とは別の、押し上げるような力が必要となり、また降りるときは車椅子が垂直に近いベクトルで加速をしたことが、X 方向では 5Hz 付近のスペクトル量の減少として、Z 方向では発生する周波数の違いとして現れているものと考えられる。

4.体圧評価

段差の無い時の走行と、段差の有る時の走行において車椅子乗車者の体圧がどのように変化しているか比較・検討を行う。なお、この実験で使用した段差は振動実験でも用いた 1.5cm の段差を用いることとする。

4.1　全面

図-12、13 は座面全体にかかる圧力をグラフで表したものである。図-12 段差無し、図-13 が段差有りの状態である。平坦部で、最初と最後に体圧の減少が見られるが、これは車椅子走行の開始点と終了点を表している。またシートに対して鉛直に働いていた体重が、車椅子の走行による加速により、慣性力に一部変わったものと考えられる。これは段差 1.5cm の走行でも同様に現れた。

段差 1.5cm 走行では、測定開始から 20 秒程の地点で段差を乗り越える際に、大きな荷重の減少が見られる。車椅子座面にかかっている荷重のほとんどが、段差通貨時にはほぼ無くなっている。これは、段差通過の際に衝撃力で一瞬、体が浮き上がるためだと考えられる。また、段差通過後は、通貨前よりも車椅子座面にかかる荷重は減少しており、時間とともに通過前の値に近づいていっていることがわかる。

変化の様子を、グラフの傾きの平均値から比較すると、段差無し平坦面走行ではグラフの傾きの平均値は 0.0057 のまま、殆ど変化が無いのに対して、段差 1.5cm 走行は段差通過前で傾きの平均値は 0.0090、段差通過後は 0.3172 となっており、通過前と通過後では傾きに約 35 倍もの差が見られる。車椅子にかかる荷重に大きな変化が現れるということは、乗車者にかかる荷重に変化が現れているということである。

よって、段差乗り越え時にかかる乗車者への負担は、段差乗り越え後十数秒持続し、段差を乗り越える一瞬だけのものではないということがわかる。

4.2 後部

車椅子後部にかかる体圧の変化は、段差通過前の傾きの平均値が 0.0670 であるのに対し段差通過後は 0.5329 と、通過前の約 8 倍の値となっている。座面前面で比較した 4.1 項と比べると、通過前後の体圧の変化は少ない。これは後部では他の部位よりも比較的大きい圧力がかかっているため、影響が全面に比べて出にくかったのではないかと考えられる。対して、走行開始、終了点の体圧の変化は全面よりも後部のほうが顕著に現れた。

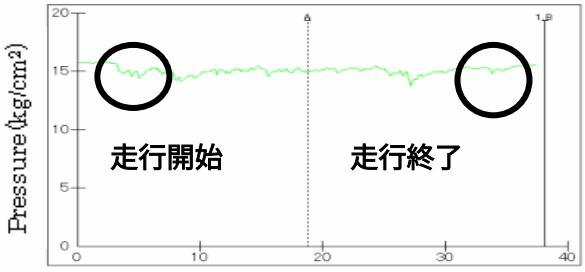

図-12.　段差無し走行

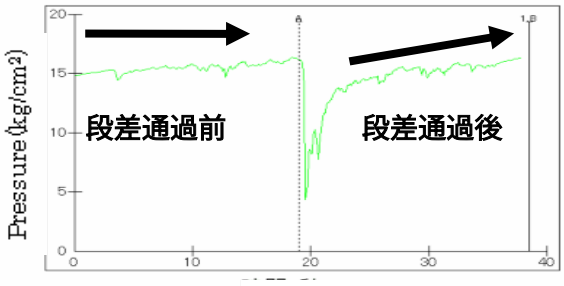

図-13.　段差 1.5cm 走行

5.まとめと今後の課題

段差乗り越え時の振動は、段差 2cm と 3cm では違った特徴を示す。X 方向では 5Hz 付近のスペクトルのパワーとして現れ、段差 2cm が最も強い影響を受ける。Z 方向では 1.5cm、2cm の段差乗り越え時には周波数スペクトルのピーク値は 23.0Hz、24.8Hz と推移し、発生するパワーも大きくなっていった。しかし、段差 3cm ではパワーはそのまま増加したが、周波数は 24.0Hz と推移した。これには、車椅子の車輪の径と段差の高さの間に発生する力の働き方が原因となっているものと考えられるが、推察の域を出ない。体圧測定結果からは、段差通過前と通過後では体圧の変化の仕方に変化が見られ、段差通過時の衝撃は、通過後もしばらく体圧の変化に影響を与えることがわかった。

今後は段差を乗り越える際、乗車者が感じる乗り心地の感性評価を行い、これと振動、体圧が相互にどのように関連しているかについて検討していくとともに、アスファルト舗装と排水性アスファルト舗装における振動特性の違いについても検討していきたい。

6.参考文献

1) 澤田知之，近藤崇，小島洋一郎，岩口純子，中村充美：車椅子における構造上の振動特性と操作や乗り心地に関する実験的研究，土木学会北海道支部，平成 16 年度論文報告集第 61 号，Ⅰ-2，2005.

2) 澤田知之，近藤崇，中村充美，小島洋一郎：車椅子の振動特性と乗り心地・操作性に関する研究，土木学会，第 60 回年次学術講演会講演概要集，I-577，2005.

3) 中村充美，澤田知之，近藤崇，小島洋一郎，岩口純子：車椅子の乗り心地と操作性及びその振動特性の工学的評価，第 7 回日本感性工学会大会予稿集 2005，S-12-3A-1，2005.