

車いす勾配降坂時の速度抑制にかかるブレーキ力に関する考察

東洋技研コンサルタント(株) 白田 尚暉

1. はじめに

我が国では、急速な高齢化により、総人口における65歳以上の高齢者の割合(高齢化率)が平成26年度に26.0%と過去最高¹⁾となった。それに伴い、身体障害者も年々増加傾向にあり、平成25年版障害者白書によると、65歳以上の在宅の身体障害者人口は221.1万人²⁾である。また、厚生労働省の調査によると平成25年時点では肢体不自由は、身体障害者の約半数を占めている。肢体不自由のうち、下肢に障害のある人々には、車いすは欠かせないものである。

このような社会背景から、バリアフリーのための都市整備が求められている。各地方自治体は『福祉のまちづくり条例』を制定し、駅、公園、建物の出入り口、歩道などにエレベーター、エスカレーター、スロープなどの設置を増加している。その中の一つである、段差解消において、一つの手段がスロープである。手動車いすでのスロープ走行による身体負担や速度の評価に関する研究はされている。また、筋電図による身体負担³⁾やトルクを用いた身体負担⁴⁾など、搭乗者の身体負担の面についての既存研究も存在している。しかし、スロープや勾配の移動方法に関する研究は、介助者を対象としたもの⁵⁾が多く、自走時の研究はあまりない。

本研究では、勾配降坂時の後輪にかかるブレーキ力を計測することにより、今後の手動車いすの自動ブレーキの開発やスロープ勾配のあり方について検討するための基礎研究と位置づけられる。

なお、ブレーキをかけるということは、初速度から速度がずっと一定の状態、つまり、加速度と $\alpha=0$ となる状態である。本研究におけるブレーキ力とは、加速度 $\alpha=0$ となる時に加わる力のことである。

2. 実験方法

2-1. ブレーキ力について

ある速度で走っている物体は速度 V の二乗×質量 m に比例した運動エネルギーを持っている。この運動エネルギーを減らして速度を落としていくことを減速という。ブレーキをかけると接地面の中に物体を後ろ向きに引っ張る力が発生する。この力をブレーキ力と言い、ブレーキ力が慣性力を上回ると、減速が起きる。

ブレーキ力の算出には、勾配を降ろうとする力、垂直反力、転がり抵抗の3つの値が必要となる。また、前述の通り、車いすにおけるブレーキとは、後輪を用いて減速をする。よって、荷重の前後比も必要となる。これらの値を求めるための実験の概要を次の表-1に示す。

表-1 実験概要

実験内容	試験体
荷重測定	車いす2種類
速度計測	車いす2種類

2-2. 荷重測定

2種類の車いす(図-1)を平路面、5%、8%の勾配で各車輪にかかる荷重を計測する。実験コースの一部をくり貫き、コースと平坦な面になるようにはかりを設置(図-2)し、何も乗せていない時、38.20kgのおもりを2つ載せた時、人(被験者2人)が乗った時、それぞれすべての車輪にかかる荷重を測定し、荷重の前後比を求めた。実験に用いた重りの総重量は76.40kgであり、この値は、被験者2人の体重の平均値をもとに設定した。



図-1 実験に使用する車いす(左から、後輪前より座席位置低(以下、車いすA)、一般的な車いす(以下、車いすB))



図-2 荷重測定実験コース

2-3. 速度計測

車いす2台(車いすA, 車いすB)を7.8%, 13.6%2つの勾配で走らせた時の速度を計測する。車いすに38.20kgの重りを2つ載せ、勾配上方10mにて風速1m/s以下になるまで待機し、車いすを支えている手を車いすに力が加わらないように静かに手を離し自走させることを5回繰り返す。ゴール地点には20cm間隔で目盛りを作り、横方向へのズレを確認する。実験の様子はビデオで撮影し、動画から速度を算出した。

なお、実験コースの一つである勾配13.6%だが、荷重測定の際の実験コースでは測定不可能であったため、勾配0%, 5%, 8%の結果より、近似曲線を用いて線形予測をし、荷重の前後比を求めた。計算方法は以下のとおりである。

実験で求めた速度から車いすの加速度 α を求める。完全に停止した状態から、手を離し走らせたので、初速度 $V_0=0$ となるので、 $\alpha = \frac{V_0}{t}$ となる。

算出した加速度から転がり抵抗係数 C_{rr} を求める。転がり抵抗とは、球や円盤、円筒状のものが転がる時に生じる進行方向と逆向きの抵抗力のことであり、この時の比例定数を転がり抵抗係数 C_{rr} と言う。

$$F=ma = \text{坂を降ろうとする力} - \text{垂直反力} \times C_{rr}$$

$$m\alpha = mg\sin\theta - mg\cos\theta \times C_{rr}$$

$$\alpha = g\sin\theta - g\cos\theta \times C_{rr}$$

$$C_{rr} = \frac{g\sin\theta - \alpha}{g\cos\theta} \dots (1)$$

荷重測定と速度計測の結果から、後輪にかかるブレーキ力を算出する。計算方法は以下のとおりである。(F:力, m:質量, g:重力加速度, C_{rr} :転がり抵抗係数, θ :勾配, α :加速度)

$$F=ma = \text{坂を降ろうとする力} - \text{垂直反力} \times C_{rr} - \text{ブレーキ力}$$

$$m\alpha = mg\sin\theta - mg\cos\theta \times C_{rr} - \text{ブレーキ力}$$

ここで、 $\alpha=0$ より

$$0 = mg\sin\theta - mg\cos\theta \times C_{rr} - \text{ブレーキ力}$$

$$\text{ブレーキ力} = mg\sin\theta - mg\cos\theta \times C_{rr} \dots (2)$$

3. 実験結果

荷重計測の結果を表-2に示す。

表-2 荷重計測の結果

試験体	荷重の前後比		
	0%	5%	8%
車いすA	2.2:7.8	3.4:6.6	3.3:6.7
車いすB	3.1:6.9	5.1:4.9	4.3:5.7

実験より算出したブレーキ力を表-3, 図-3に示す。

表-3 算出した車いす全体にかかるブレーキ力

試験体	全体にかかるブレーキ力 (N)
車いすA 勾配7.8%	34.82
車いすA 勾配13.6%	49.74
車いすB 勾配7.8%	26.00
車いすB 勾配13.6%	46.18

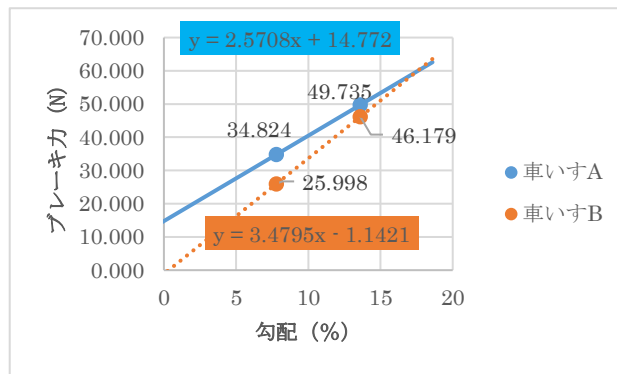


図-3 車いす全体にかかるブレーキ力の一般式の予測

4. まとめ

荷重の前後比を比較すると、車いすAの方が後ろ寄りである。また、算出したブレーキ力はどちらの勾配においても車いすAの方が大きかった。このことから、重心位置が後方に寄るほどブレーキ力が大きくなると言える。しかし、荷重計測の結果より、勾配が増すにつれて荷重位置は前方に寄っていくことがわかる。本研究での算出結果では、勾配が大きいくほど、つまり言い換えると、荷重位置が前方であるほどブレーキ力は大きくなることがわかった。このことは、前述した、荷重位置が後方になるほどブレーキ力は大きくなる、ということと矛盾する結果となった。以上より考察すると、ブレーキ力は、荷重の前後ではなく車輪の性能や車いすそのものの形状に関係すると言える。

また、今回の研究で求めたブレーキ力は、進行方向に働く力と逆向きの方向かつ同じ大きさの力であり、車輪の動きを止める力を測定したのではない。今後の研究では、そのような力を測定する必要がある。

参考文献

- 1) 内閣府：平成27年度版高齢社会白書
- 2) 内閣府：平成25年度版障害者白書
- 3) 徳田良英：「車いすの下り勾配における身体負担に関する実験研究」, 福祉のまちづくり研究, Vol.11, No.1, pp40-47, 2009
- 4) 川口茂明：「実路面における車いす利用者の身体的負担に関する研究」, 近畿大学修士論文, 2010
- 5) 原武夫ほか：「下り坂での車椅子移送時における感覚特性と挙動解析」, 北陸信越支部第39期納会・公演論文集, pp345-346