

ウィルチェアラグビーに使用する 車いすに加わる衝撃力の実験 —車いすが正面衝突する場合—

Impact Load by Front Collision on Wheelchairs in Wheelchair Rugby

三山 剛史*

Takafumi Miyama

Wheelchair Rugby was invented in 1977 in Canada for quadriplegic athletes. It was recognized as a medal sport for the first time at the 2000 Paralympic Games in Sydney. It has become prominent in more than 40 countries including Japan. The Japanese National team received the bronze medal in the 2016 Rio Paralympic Games, which has led to rising expectations for the gold medal in the 2020 Tokyo Paralympic Games.

In this paper, we present the experimental results of impact load on wheelchairs as a result of collision in sports. The approximate speed of a wheelchair is 3-4 m/s. The wave forms of impulse load are nearly the same when the experimental conditions are similar. However, these wave forms contain high-frequency components. It originates from the solid vibration of the load cell and the wheelchair frame. For this purpose, more accurate measurements of collision force are required. The impulse originates from the triangular-shaped force for a duration time of 3.4 ms. The impulse is 15%-20% of momentum. The remaining momentum is consumed by the movements of the players. The impact load is approximately 30 kN per 3 m/s attack.

1. はじめに

ウィルチェアラグビー¹⁾は、四肢に障害のある人たちが出来るチームスポーツとして1977年にカナダで誕生した。2000年のシドニーパラリンピック（第11回夏季大会）からはパラリンピック正式競技となっており、現在では世界40ヶ国以上に普及している。日本代表チームは2016年のリオパラリンピックで銅メダルを取り、2020年の東京オリンピックではさらに上のメダルが期待されるチームとなっている。

ウィルチェアラグビーでは競技専用の車いすを使用する。車いすには相手の車いすを止めるためのバンパーや、相手の車いすから逃れるためのウィングが取り付けられている。試合では相手の車いすに自分の車いすを衝突させたり引っかけたりすることにより相手の攻撃や防御を阻止することが認められている。この競技用の車いすは激しいぶつかり合いにも耐えられるように、かつ選手の体型や障害の状況を考慮してフルオーダーメイドで作られている。

ウィルチェアラグビーの試合で高速で衝突すると、乗っている選手も大きく揺さぶられ、場合によっては車いすの転倒を生じることもある。このような衝突により競技用車いすには大きな力が加わり、変形や割れを生じる。また、試合で何度ものアタックを受けると溶接部に割れを生じることが多くある。車いすの耐久性を高めるための様々な補強が行われてはいるが試合中に修理が必要となることもある。本報では車いすは衝突によりどの程度の力を受けているかを計測したので、その方法と結果について述べる。ぶつかり方にも様々なパターンが考えられるが、まずは、基本的な衝突として正面からぶつかる場合について検討した。実験により衝撃力を明らかにすることが最終的な目標ではあるが、それ以前に妥当な計測が行われているかも検討する。

* 居住空間デザイン学科 教授

2. 実験方法

走行車いすと停止車いすの2台の車いすを用意する。停止車いすには人が乗り、できるだけ動かないように車輪を押さえておく。走行車いすにも人が乗り、停止位置から加速しながら停止車いすに衝突する。車いすの速度は床の上に1 mおきにテープを貼り、その上を通過した時間をビデオ撮影した画像から読み取ることで、計測した。2台の車いすの先端のフレームに加速度計を取り付けて車いす進行方向の加速度を計測した。衝撃力の計測は停止車いすの先端に取り付けたロードセルでおこなった。車いすのバンパーの高さは、最初に当たる部分を11cmにすることが国際ウィルチェアーラグビー連盟の規定で決められており、写真1のようにロードセルの衝撃力を測る突起部分をその高さに合わせて固定した。計測は速度を変えて実施した。衝突する部分のダンパーには歪ゲージを貼付した。この歪ゲージはその部分の歪の正確な値を求めることが目的ではなく、ロードセルで得られた衝撃荷重と線形な関係が得られれば、ロードセルを用いなくても衝撃荷重を計測できるようになると予想して取り付けただけのものである。



写真1 ロードセル取り付け状況



写真2 衝突時の状況

表1 試験の一覧 試験の一覧

No.	条件	速度		荷重	加速度（先端）		力積 $\int Fdt$	等価時間 t_{eq}
		平均速度	最終速度		走行車椅子	停止車椅子		
		m/sec	m/sec		m/sec ²	m/sec ²		msec
T4	中速, 板付	3.07	3.75	27.0	6152	4092	51.5	3.81
T5	中速, 板付	2.90	3.53	27.1	7086	4196	43.8	3.23
T6	中速, 板付	3.18	3.33	22.5	4449	5126	47.7	4.25
T7	中速	3.05	3.33	34.2	9274	9249	57.0	3.33
T8	中速	2.87	3.33	33.3	9766	9423	56.0	3.37
T9	中速	3.04	3.33	34.2	8557	8697	56.7	3.31
K1	中速	2.50	3.00	29.6	—	—	48.6	3.28
K2	中速	2.58	3.00	31.5	—	—	54.5	3.45
K3	中速	2.57	3.00	27.3	—	—	50.6	3.71
K4	中速	2.55	3.00	32.1	—	—	54.5	3.40
K5	中速	2.58	3.00	28.4	—	—	47.3	3.33
K6	低速	2.05	2.31	17.4	—	—	29.5	3.41
K7	低速	2.01	2.31	20.7	—	—	33.2	3.21
K8	低速	2.05	2.31	15.8	—	—	31.1	3.93
K9	低速	1.97	2.31	19.7	—	—	31.9	3.24

T4 ～ T9：走行車椅子重量19kg+体重73kg
停止車椅子重量18kg+体重68kg

K1 ～ K9：走行車椅子重量19kg+体重73kg
停止車椅子重量18kg+体重61kg

試験の一覧を表1に示す。T4～T9とK1～K9は異なる実験シリーズであり、使用している車いすは異なっている。歪の計測や加速度の計測を行っているが、その計測位置は多少異なっている。T4～T6は板付と表記されている。これは衝突時のフレームの振動により加速度に大きな高周波成分が入らないようにしようとして、ロードセルがぶつかる相手側に9mmの合板を取り付けたもので、衝突の実験では良く用いられる方法と聞いて試験的に行ったものである。衝突時の状況を写真2に示す。左が停止車いすで、右の走行車いすが衝突している。衝突により、停止車いすは浮き上がり、転倒しかけている。

3. 実験結果

1) 車いすの速度

車いすの速度はビデオで撮影した動画をコマ送りし、1mおきに床に貼りつけたテープの上を通過する時間を見ることで計測している。車いすの速度の計測結果の例を図1に示す。この試験結果は1mの助走の後の車いすの速度の変化を示している。1m程度の助走後はほぼ3m/sec程度の速度で進んでいる。衝突直前には速度が少し落ちている。これは選手が相手の車いすへのアタックの準備として身構えているため、車いすの加速をしない状況になっていることを示している。4mから5m程度の間での移動であれば、速度は最大でも3.5m/sec程度と考えられる。

2) 衝撃力と加速度

図2はT7の試験での衝撃力と加速度の関係を示す。衝撃力は衝突を生じると負側にふれ、その後おおきく正側に揺れている。振動しながら、0.0035秒程度ではば0の力になっている。加速度は衝撃力と異なり、衝突により負側にふれることなく、正側に大きくなり、その増え方は衝撃力よりも急激になっており、ピークとなる時間は衝撃力よりも早くなっている。その後、衝撃力と同じ高周波成分を含みながら、衝撃力に比べると急激に振幅は小さくなり、3波以降は正負にほぼ等しく揺れている。

3) 衝撃力と歪

図3に衝撃力と歪の関係を示す。歪も衝撃力も衝突を生じると負側にふれ、その後大きく正側に振れているが、加速度の場合と同じように歪のほうが急激に大きくなっており、ロードセルによる衝撃力はゆっくり増加している。

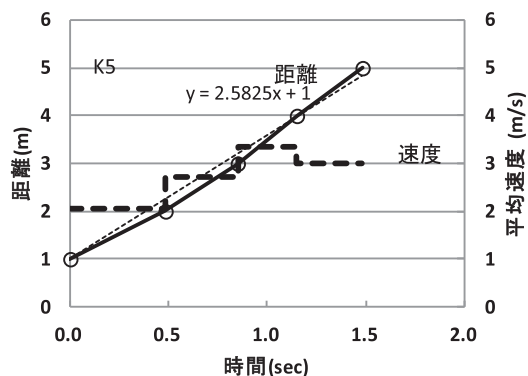


図1 車いすの速度（1mの助走後の速度）

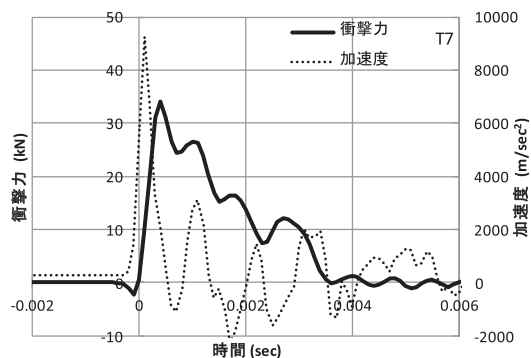


図2 衝撃力と加速度の時刻歴

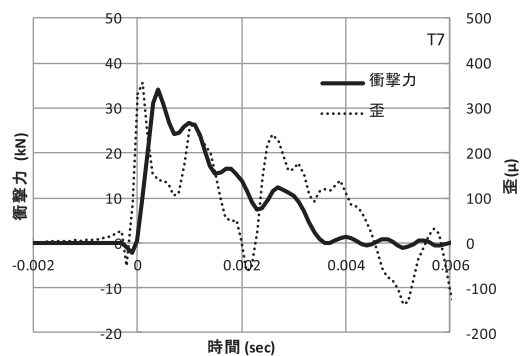


図3 衝撃力と歪の時刻歴

衝撃力と歪が衝突の瞬間に負側に振れ、加速度は負側に振れることなく正側に振れている理由は不明である。ロードセルによる衝撃荷重の増加が加速度や歪に比べ緩やかである理由としてはロードセルが衝突を開始して、フレームがゆっくり変形している状態を表しているものと考えられる。歪やロードセルの計測値に乗った高周波成分はそれぞれの固体振動によるものと思われる。この点については詳細な検討を行う必要がある。

4) 衝撃力波形、歪波形

ロードセルで計測した衝撃力をK1～K5の結果を重ね合わせて図4に示し、その場合の歪を図5に示す。5つの試験結果がほぼ一致した形状になっていることから、再現性の高い実験ができていることがわかる。衝突すると急激に衝撃力は増え、およそ30kN程度になっている。その後0.003秒程度でほぼ0の力に落ちている。再度、0.012秒から、0.015秒程度で衝撃力が10 kNから15 kNになっている。停止車いすは車輪を動かないように手で押さえているが、最初の衝撃で後ろに下がり、その後、走行車いすが再度衝突してきたことを表している。

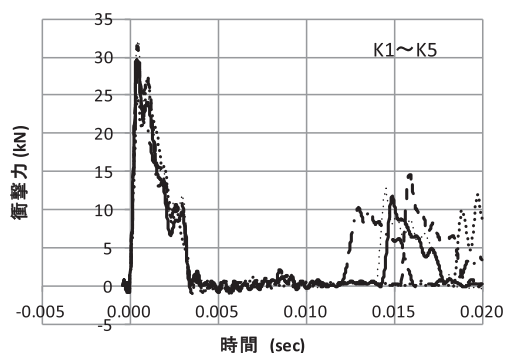


図4 衝撃力の時刻歴(K1～K5)

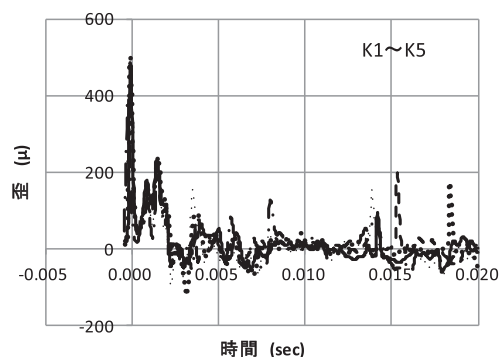


図5 歪の時刻歴(K1～K5)

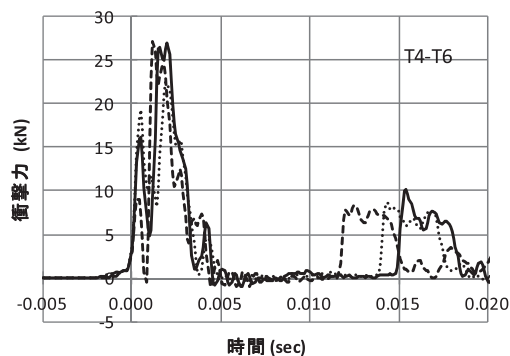


図6 衝撃力の時刻歴(T4～T6)

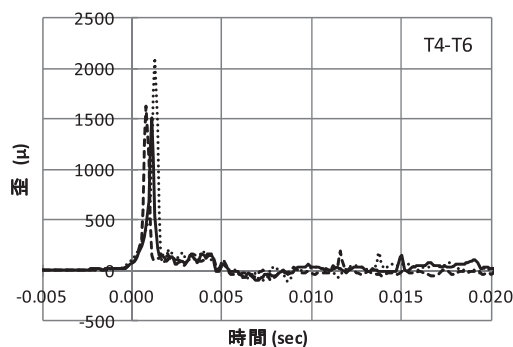


図7 歪の時刻歴(T4～T6)

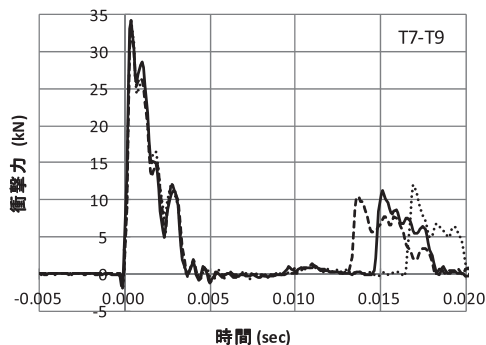


図8 衝撃力の時刻歴(T7～T9)

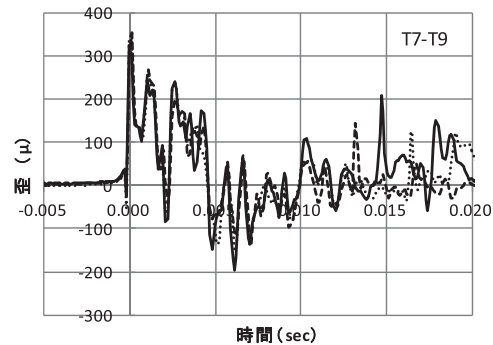


図9 歪の時刻歴(T7～T9)

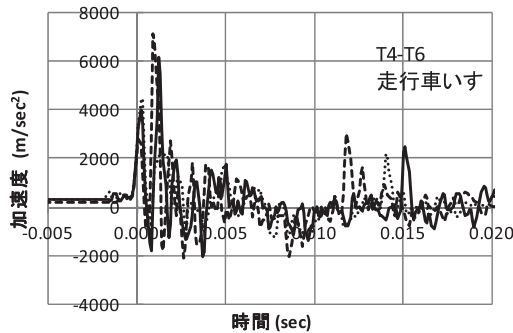


図10 正面加速度の時刻歴(T4～T6)

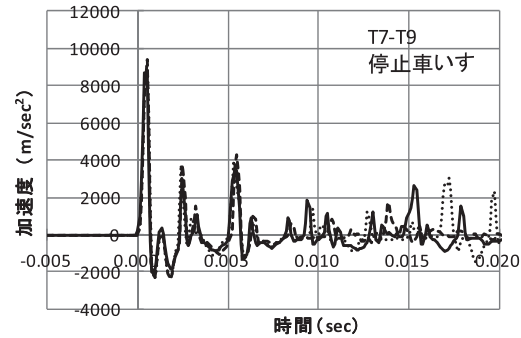


図11 正面加速度の時刻歴(T7～T9)

5) 板の影響

図8と図9にT7～T9の場合を示す。これらの図も同じように波形がほぼ重なっている。一方、図6と図7に示すT4～T6の場合、衝突部分に板を貼りつけているため、衝撃荷重の履歴は最初の荷重上昇の部分で高周波成分が乗った波形になっており、他のK1～K5、T7～T9の結果とは異なっている。歪波形についても、K1～K5、T7～T9の結果とは異なり、衝突から歪の増加までに時間がかかっており、歪の値も大きくなっている。衝突から歪増加までの時間がかかる理由としては板がつぶれて衝撃荷重が歪計測の部分に伝わるのに時間がかかっていることとして理解できる。しかし、値が大きくなっていることに関しては、その理由は明らかではない。

T4～T6の実験ではぶつけられる側のバンパーに加速度の計測を行いやすくする目的で合板を貼り付けていた。衝突部分を柔らかくしたので、衝撃力の時刻歴は高周波分を含まない形になるかと思われたが、逆に高周波分を多く含む波形になっている。3回の計測値の違いも多く、衝撃力の計測結果を見る限り、板は不要のように思われる。

6) 衝突による力積

K1～K5とT7～T9の衝撃力の結果を見ると、最初の衝突から0.003秒程度までの力と時間の関係はほぼ三角形分布になっている。この部分の力と時間の積分値は力積となる。力がほぼ0となる0.0035秒まで積分し、この力積が最大荷重と時間で決まる三角形分布と考え、時間を求めると0.00343秒となった。三角形分布にした場合の継続時間が一般的な値となり、運動量の何割かが力積になるとすれば、この継続時間から最大荷重を求めることが可能になる。

7) 加速度波形

図10と図11にT4～T6、T7～T9の走行車いすと停止車いすの加速度波形を示す。T7-T9の結果はほぼ重なった波形となっており、安定して実験結果が得られていることがわかる。一方、T4～T6の結果は衝撃力や歪の結果と同じようにそれぞれの試験で波形が異なっている。板を貼り付けることにより試験の安定性がなくなっていることが分かる。

T7～T9の加速度波形は衝突の後、正側に大きく振れ、その後、衝撃荷重に比べて急激に小さくなり、全体的に正側に振動が偏った振動を行っている。大まかに見ると0.004秒程度で加速度波形がおさまっているように見えるので、ロードセルで計測した衝撃荷重で三角形分布の力積を求めたように三角形の底辺（継続時間）を求めることは可能のように見える。

8) 速度と衝撃力の関係

走行車いすの速度と衝撃力の値の関係を図12に示す。ここでいう速度は衝突前に床のマーカースを通り過ぎた時に測ったもので、衝突時の速度を正確に表しているわけではないが、速度は図1に示したように急激には変わらないので、ほぼ衝突時の速度と考えてよいと判断している。

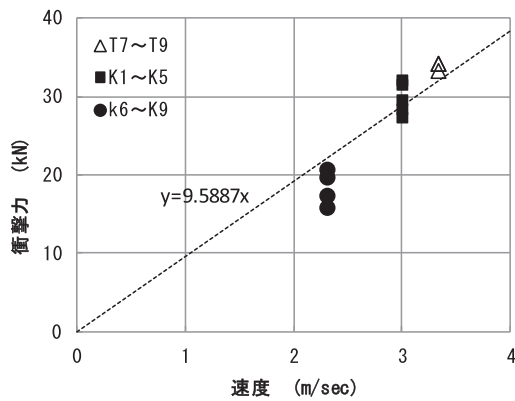


図12 車いす速度と衝撃力の関係

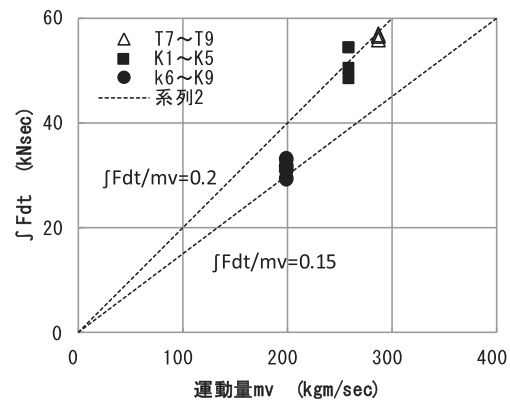


図13 運動量と力積の関係

T4～T6の試験結果は板を取付けた場合で、衝撃力は小さくなっている。また、これらの場合は加速度波形や歪波形が同じ試験シリーズで異なっていたことから、再現性が少ないと考えられる。そこで板がない場合だけについて衝撃力と速度の関係を考える。この図から衝撃力のばらつきはあるが、ほぼ、速度に比例して衝撃力が増えていることがわかる。最大の衝撃力が35kN程度になっている。この結果から2台の車いすがお互いに3.5m/secの速度で正面衝突をすると約70kNの衝撃力が車いすに生じることが考えられる。

・運動量と力積の関係

走行車いすの衝突時の力積と運動量の関係を調べ図13に示す。縦軸は走行車いすの力積を示しており、横軸は衝突時の運動量を示している。力積は衝撃荷重が衝突から急激に増えて、ほとんど0になる0.0035秒まで積分した値を用いている。斜めの線は0.15と0.2の勾配を表している。この図から運動量のおおよそ15%から20%が力積になっていることがわかる。言い換えると、走行車いすと停止車いすに衝突後に運動量が80%から85%程度入っていることになる。衝突時に車いすは完全に止まっているわけではなく、ある程度は動く。さらに車いすに載っている人の上半身は衝撃により大きく動く。そのような動きに部分にこの運動量が入っているものと考えられる。

4. まとめ

ウィルチェアラグビーは、四肢に障害のある人たちが出来るチームスポーツとして1977年にカナダで誕生し、日本代表チームは2020東京パラリンピックでメダルが期待されている。その競技用車いすの衝突の実験を行い、車いすに生じる衝撃力を計測した。検討の結果、車いすの速度は実験結果で3m/sec程度であること、衝突による力積はほぼ三角形の分布をしており、継続時間は0.0034秒程度であること、衝突前の運動量のおおよそ15～20%が衝突による力積となること、片方の車いすが止まっていて、もう一台がぶつかる場合の衝撃力がおおよそ30kN程度であることが分かった。歪や加速度の計測では計測結果に固体振動が含まれており、値の評価が難しいといえる。ロードセルを含めて計測方法の改良が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 日本障がい者スポーツ協会(監修): チームでたたかう!夏の競技〈2〉サッカー・ゴールボールほか(まわりわかり!パラリンピック)、文研出版、2015年1月

謝辞

この研究を行なうための実験では一般社団法人日本ウィルチェアラグビー連盟強化委員の三山慧氏に協力していただきました。ここに謝意を表します。