

幼児が公園遊具から転落した時の衝撃緩和に関する研究

2020 年度研究報告

2021 年 6 月 7 日

早稲田大学人間科学学術院

生活人間工学研究室

はじめに

2020年度の研究課題は当初、全国の舗装土を対象とした比較研究を予定していたが、新型コロナウイルス感染拡大の影響で実施が極めて困難になった。そこで大きく2つの研究と計測技術にかかる検証研究を1つ実施した。

まず2019年度研究報告の成果の延長として講演コンクリート遊具からの転落を想定した研究として、すでに接地されたコンクリート遊具を対象とした衝撃計測実験を行った。コンクリート遊具を対象とした衝撃計測により、平坦部分への落下について2019年度の報告結果を反映する結果が得られた。一方で傾斜部分への落下時の衝撃は平坦部分の場合の約6割程度になることが示唆された。

次に、昨今の新型コロナウイルス感染拡大防止の観点から需要が増した室内遊具からの転落を想定した転落衝撃計測により、床面に敷設されたフローリングとカーペットの条件により一定の差が認められた一方、ほとんどの場合で基準値を上回る結果が得られたことから、少なくともJPFA2014に示した基準内の接地が必要であることが示された。

上の実験はそれぞれ別の計測機器を使用している。そこで2種類の衝撃評価装置の比較を行ったところ、両者ともに高い信頼性が高い結果が得られ、統計的有意差は認められなかった。従って今後も製造した企業の示す計測条件の中で適正な評価を実施することが可能であることが示された。

コンテンツ概要

1. 公園のコンクリート遊具からの転落を想定した衝撃評価実験
2. 室内遊具からの転落事故を想定した衝撃評価実験
3. 2種の衝撃評価装置（TRIAX, RSK）の計測性能比較実験

1. 公園のコンクリート遊具周囲における転落を想定した衝撃評価実験

1.1 江東区内のコンクリート遊具

昨今設置される機会が増えているコンクリート遊具における転落事故については2019年度に基礎資料が報告されている。これに基づき公園に設置されているコンクリート遊具周辺の落下事故に関する衝撃評価を実施した。対象は図1～4に示す4つの公園に設置されたコンクリート遊具である。

- ① 堅川第一公園（図1）江東区江東橋 4-1-3（1953年9月1日開園）
- ② 大島六丁目第二児童遊園（図2）江東区大島 6-15-5（1997年12月19日開園）
- ③ 川南公園（図3）江東区千石 2-9-22（1931年2月11日開園）
- ④ 東陽公園（図4）江東区東陽 3-27-27（1927年2月28日開園）



図1 堅川第一公園①



図2 大島六丁目第二児童遊園②



図3 川南公園③



図4 東陽公園④

1.2 実験方法

図1～4に示したコンクリート遊具（滑り台）において転落事故が発生した際の頭部衝撃を想定し、ASTM F1292で使用される衝撃計測装置 TRIAX E-missile^{2,3)}により、傾斜部分と平坦部分のHIC, Gmaxを計測する。知見³⁾より約15cm高さからコンクリート面への落下によりHICが基準値に達することから、5cm程度の高さから基準値を上回るまで計測する。

滑り台末端の平坦部と傾斜部を計測対象とする。堅川第一公園と東陽公園は傾斜角が変化するため複数箇所を計測対象とし、大島六丁目第二児童遊園と川南公園は一定であることから任意の一箇所を計測対象とし、傾斜群を四種類（0度、30度、40度、50度）に分けて比較する。なお50度の角度は東陽公園で計測した2回のみである。

また川南公園の滑り台について参考記録として側面への転落によりダスト舗装の床面に衝突した場合を想定した計測を行う。いずれも低い高さから基準値に近づくところまでを計測範囲とする。

1.3 結果

図5に①～④のコンクリート遊具における落下高さ と HIC および Gmax との関連性を示す。点は計測値を示し、破線は HIC と Gmax の近似曲線を示す。HIC と落下高さは高い相関を示しおおよそ 15cm を超えると基準値 1000 を超えた。一方 Gmax と落下高さにも対数による相関性が認められるが、落下高さ 5cm 程度で基準値 200G を超えた。

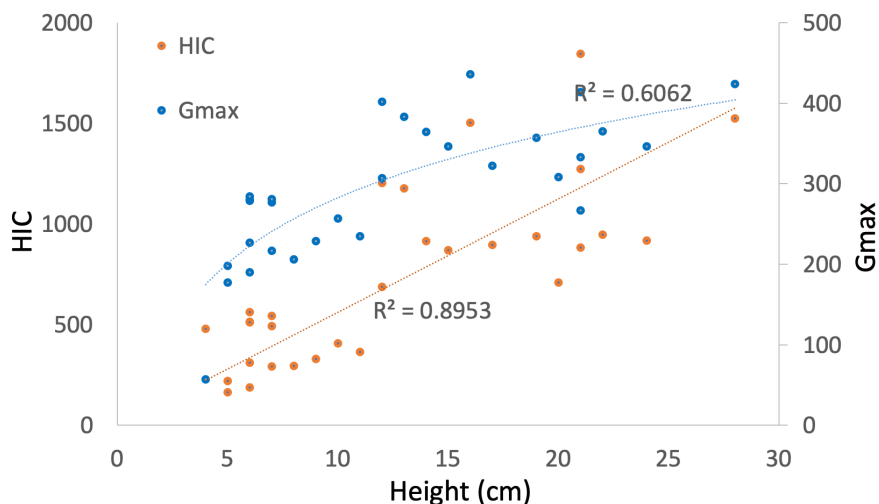


図5 コンクリート面における落下時の衝撃評価値

図6に①～④のコンクリート遊具の測定における、落下点の水平面に対する角度ごとに分類した落下高さ と HIC との関連性を示す。点は角度別の計測値を示し、破線はそれぞれの近似直線を示す。0度の近似直線の傾きは30度、40度、50度の傾きと比較して大きい値を示している。一方、傾斜部分については40度、30度、50度の順で傾きが大きい。

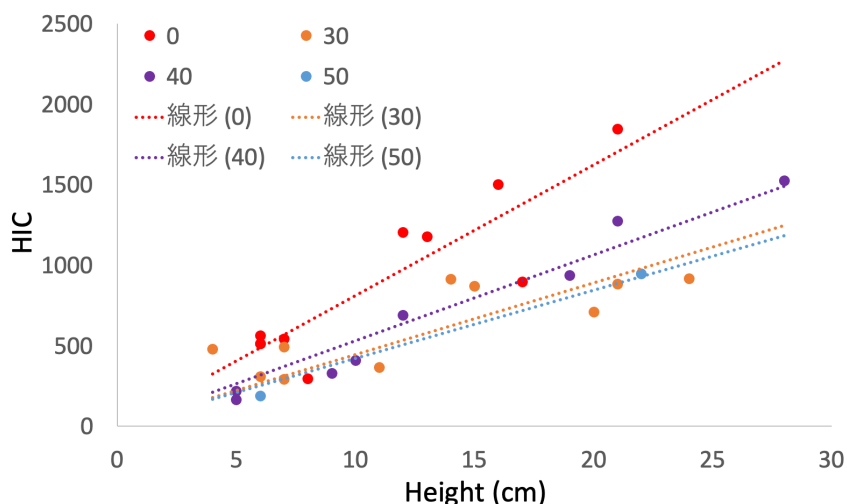


図6 コンクリート面における落下時の衝撃評価値（傾斜角度別）

図7に豎川第一公園の滑り台出口と川南公園の滑り台はしご下部の衝撃吸収材敷設部分における落下高さ と HIC および Gmax との関連性を示す。点は計測値を、破線は近似直線を示す。いずれも高い相関を示し、100cm 程度の高さで基準値近くまで達した。

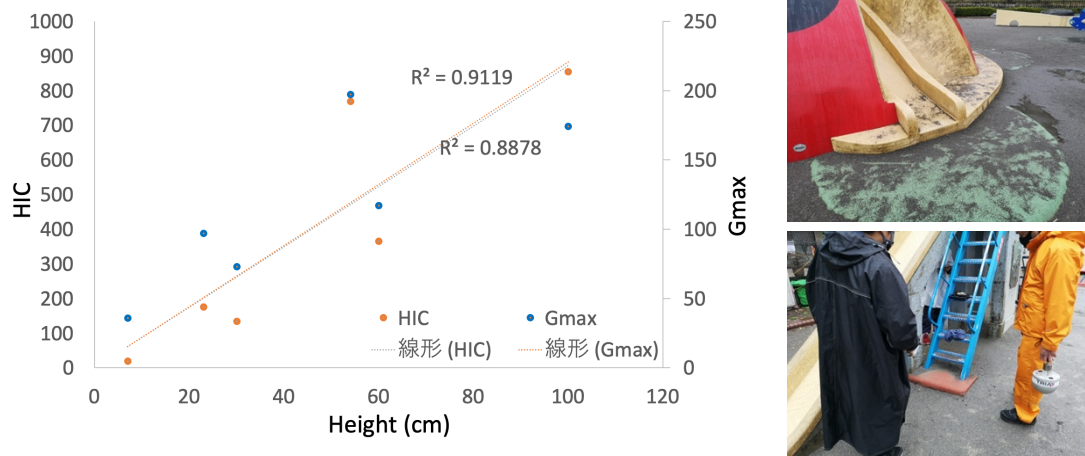


図7 滑り台下部加工面(緩衝材)における落下時の衝撃評価値

図8に川南公園滑り台のはしご近辺柄の落下を想定した側部床面における落下高さ
HIC および Gmax との関連性を示す。点は計測値を、破線は近似直線を示す。いずれも高い
相関を示し、100cm 程度の高さで基準値近くまで達した。

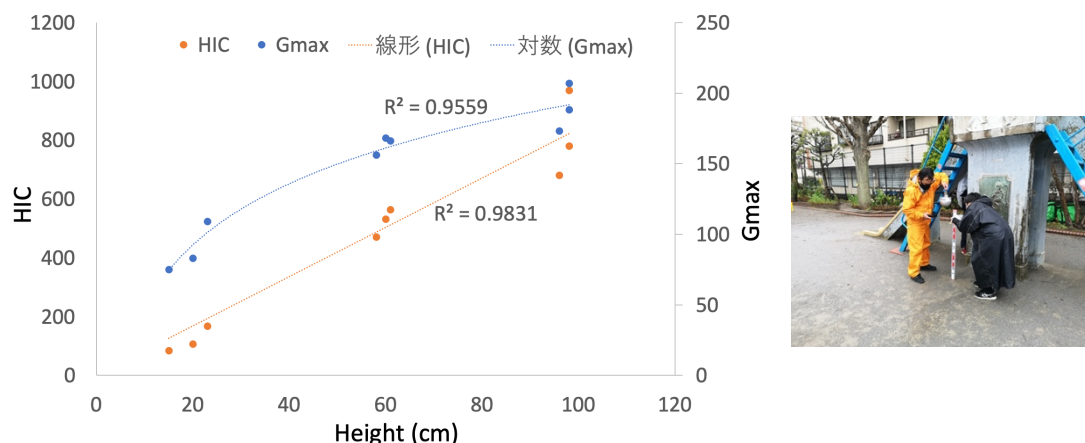


図8 川南公園滑り台側面ダスト舗装における落下時の衝撃評価値

1.4 考察

図5の結果は、コンクリート面への落下では15cmを限界としている知見^{2,3)}の結果とほぼ一致しており、HIC、Gmaxともに15cm程度のところから基準値を超えた値を示しているため、傾斜面であっても転倒、転落時に頭部に衝撃が加わると致命的な結果につながることを示唆される。一方で図6の結果において近似直線の傾きに0度と30-50度との間に差が認められることから、傾斜部分で生じる衝撃は水平部分への落下で生じる衝撃と比べて小さくなることがわかった。30-50度の傾斜部分の計測時、筐体は接地した後に傾斜を滑って落下を続けることから平坦部分と比べて、落下運動による衝撃吸収の効果が生じると考えられる。一方で3つの角度条件の計測値に大きな差が認められないが、本実験結果からは接地後の筐体の挙動について計測をしていないことから、3つの傾斜条件ごとの挙動特性について言及するのは困難である。そこで計測結果から、3つの傾斜条件をまとめて単一

の傾斜条件とみなした場合について検討した結果を図9に示す。図9では平坦部、傾斜部いずれも高い相関を示すとともに、回帰直線の傾きについて明確な差が示されており、同じ高さからの転落において傾斜時には衝撃値が約6割程度になった。角度に寄らず傾斜による衝撃低減に一定の効果を示唆したといえる。

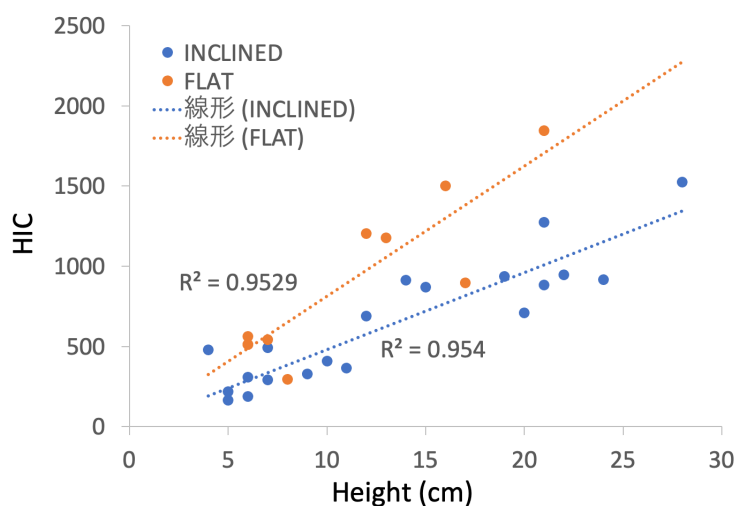


図9 HICにかかる平坦面と傾斜面との比較

図7の結果は2018年の研究報告⁶⁾で示された結果と同じく、ゴム素材を用いた床面素材による衝撃緩和効果が認められた。ただし計測結果からは、落下高さが100cmを超えると基準値を超えるため、100cm以上の高さからの落下が想定される場合には手摺り等の落下防止措置を定めたJPFA-SP-S:2014の基準の整合性が明確化したと考えられる。同じく図8の結果からはダスト舗装に転落した場合の計測値は図7に近似していると考えられ、100cmの高さからの落下は積極的に防止する必要があることを示したといえる。

参考文献

- 1) 日園施設業協会, 2018, コンクリート製遊具の安全基準の考え方, JPFA News, vol.06, <https://www.jpfa.or.jp/181011%20JPFA%20NEWS%20vol.6.pdf> (2021.5.11 retrieved)
- 2) Alpha Automation, Inc., TRIAX TOUCH-E missile, <http://triaxtouch.com/products/triax-touch-e-missile/> (2021.5.11 retrieved)
- 3) ASTM, 2017, F1292-17a Standard Specification for Impact Attenuation of Surfacing Materials Within the Use Zone of Playground Equipment,
- 4) B.J.Shields, G.A.Smith, 2009, The Potential for Brain Injury on Selected Surfaces Used by Cheerleaders, J. Athletic Training, 44(6), 595-602
- 5) 加藤麻樹, 2020, 幼児が公園遊具から転落した時の衝撃緩和に関する研究 2019年度研究報告/コンクリート等の堅い設置面に対する頭部衝撃評価, 日本公園施設業協会
- 6) 加藤麻樹, 2019, 幼児が公園遊具から転落した時の衝撃緩和に関する研究 2018年度研究報告, 日本公園施設業協会
- 7) JPFA, 2014, 遊具の安全に関する基準 JPFA-SP-S:2014

2. 室内遊具からの転落事故を想定した衝撃評価実験

2.1. 研究の背景と目的

公園遊具の安全性にかかる指標は「遊具の安全に関する基準 JPFA-SP-S:2014」¹⁾で明記されており、公園遊具を設置する際の基準として用いられているが、家庭内で使用される屋内用遊具の設置は、その世帯の判断に依存していることから統一基準を適用するのが困難である。一方 2020 年から新型コロナウイルスの感染拡大防止の観点から不要不急の外出に対する自粛要請が続いており、子ども達も屋内で遊ぶ時間が増えたとされている²⁾。屋内の滞在時間が増えることで運動不足等の身体的な悪影響が懸念されることから、家庭において運動機会を提供できる屋内遊具の需要は高いと考えられる。いわゆる「巣ごもり消費」が日本の室内遊具の EC 市場にどのような影響を与えたのか下記の条件で分析すると、室内遊具の 3 月売上（全 60 商品）は前年比で約 3.7 倍に増えていたことが明らかとなった。

- ・ 対象モール：楽天市場、Yahoo!ショッピング（PayPay モール含む）、Amazon
- ・ 対象商品：室内遊具
- ・ 売上データ：3 モールの上位各 20 商品（全 60 商品）の月次売上の合計
- ・ 上位 20 商品：4 月 16 日時点で直近 30 日売上の上位 20 商品
- ・ データ期間：2019 年 3 月～4 月 / 2020 年 3 月～4 月 13 日

家庭用の屋内遊具は図 1 で示すような公園遊具のミニチュアのような形態をとる場合があり、屋内の限られた面積で設置することができる。なお図 1 の屋内遊具は幅約 105×奥行 145×高さ 71cm であり、JPFA-SP-S:2014 で手摺り等を必要としない 60cm より若干高い。しかし図 2 の屋内遊具は約幅 130×奥行 140×高さ 103cm であり、JPFA2014 では手摺りが必要とされる高さに達している。また子育てにかかる情報提供をするサイトでは、オリンピック種目でもあるボルダリングの DIY が紹介されており、最大天井高さまで登ることができる³⁾。



図 1 屋内遊具例（アガツマ）



図 2 屋内遊具例（アガツマ）

屋内遊具からの転落によって生じる衝撃を評価した研究は少ないが、日本カーペット工業組合では特に屋内における高齢者等の転倒リスクを評価する実験の結果から、今後の詳細な検討課題が残るものの、カーペット敷設により転倒時の頭部衝撃を緩衝する硬化がある程度認められるとしている⁴⁾。本研究ではこの知見を参考として、屋内遊具の適切利用にかかる基礎データを集めることを目的とし、知見⁴⁾で示された条件を用いて屋内遊具からの転落を想定した衝撃評価実験を行った。

2.2. 実験方法

2019年の日本カーペット工業組合による転倒時の頭部衝撃計測実験と同条件の床面に対する幼児の遊具からの転落を想定し、落下時の頭部衝撃評価実験を行った。

床面条件として、図3に示すように一般的な住宅の床下構造を模した。高さ55mmの角材上に基礎材として12mmのベニア板およびフロア材として全厚1.8mmのフローリング材を敷いて統制条件、表1に示したカーペットの4条件、および①～③のカーペットの上に④のカーペットを敷いた3条件を合わせ、表2の計8条件を設定した。

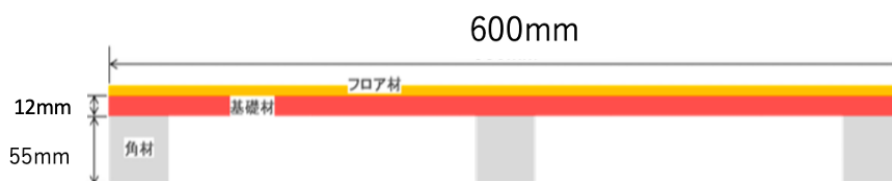


図3 実験に用いた床下構造

表1 使用したカーペット

品種	素材	規格	寸法[mm]
A タイルカーペット	ナイロン	全厚 8.5mm パイル長 2.5~5.8mm ループ	200×200×8.5
B ホームタイルカーペット	ナイロン	全厚 8.5mm パイル長 5mm カット	200×200×8.5
C カーペット 1	ウール	全厚 10mm パイル長 5~7mm カット	200×200×10
D カーペット 2	ウール	全厚 12mm パイル長 8~10mm ループ	200×200×12

表2 床面条件

① 統制	② Aのみ	③ Bのみ	④ Cのみ
⑤ Dのみ	⑥ Aの上にD	⑦ Bの上にD	⑧ Cの上にD

落下高さはJPFA2014の基準に従い600mm, 1000mmとし¹⁾、衝撃計測装置⁵⁾(Mircostone, 以下 RSK)を用いてJPFA方式の手順⁶⁾によりHIC⁷⁾およびGmaxを計測した。なお2000mmの落下高さ条件は予備実験の時点で致命的な値に達していたため本実験からは除外した。

2.3. 実験結果

図4にHIC, 図5にGmaxを示す. HICは実験条件⑥(ナイロン材タイルカーペットとウール材パイルカーペットの二重構造)で780, 実験条件⑧(ウール材のパイルカーペットの二重構造)で995を示した以外は, いずれも基準値1000を超えた. Gmaxはすべての条件で基準値200Gを超えた.

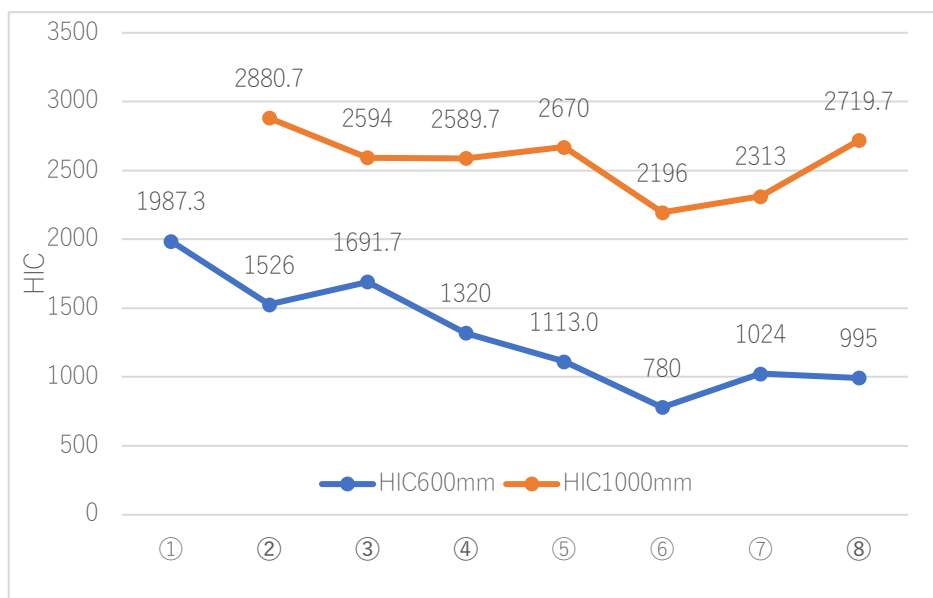


図4 HIC

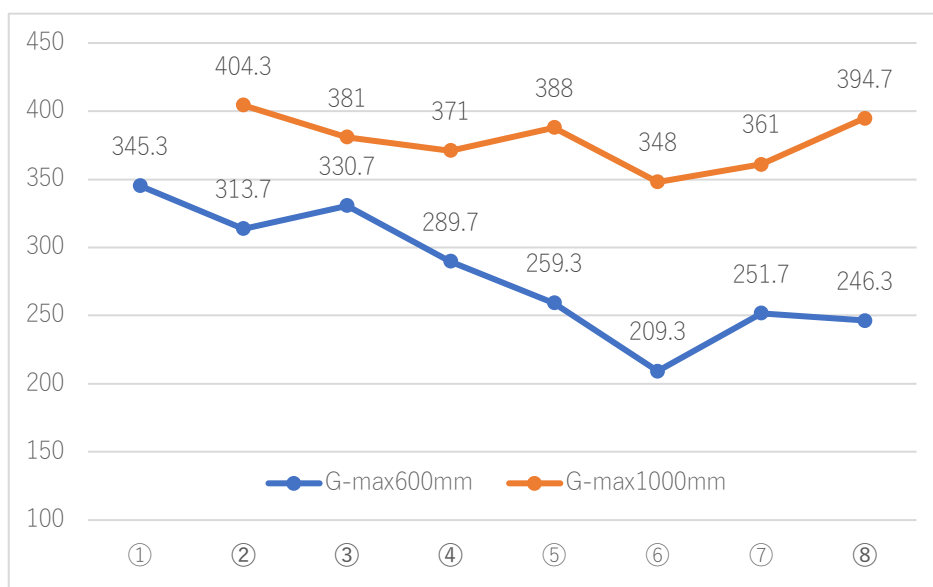


図5 Gmax

2.4. 考察

実験で模した屋内遊具からの転落事故により、HIC、G-max いずれも基準値を上回る結果が示されたことから、屋内遊具が致命的な事故につながる可能性が示唆された。知見では公園の地面が芝生、ゴム性の地面、真砂土舗装の条件に対して落下高さ 600mm の場合 HIC が芝生 412.5、ゴム 362、真砂土舗装 702 であり、落下高さ 1000mm の場合、芝生 573.5、ゴム 880.5、真砂土舗装 1422 であった⁸⁾。住宅の床面の衝撃吸収性は公園よりも低いのは、図 1 で示すように床面を構成する基礎材と角材の構造は、芝生やゴム等のような変形性が乏しく、衝撃吸収機能が十分ではないことが理由として考えられる。

基準値を上回ることを前提として条件間比較をすると、落下高さ 1000mm では大きな差が生じていないが、落下高さ 600mm ではループ構造の方が低い値を示していることから、図 6、7 に示すカーペットの構造によって衝撃吸収機能に差が生じることが示唆される。従って、屋内遊具を設置する際はカーペットの素材と構造を考慮できると考えられる。



図 6 カット構造⁹⁾



図 7 ループ構造⁹⁾

また②～⑤のカーペットの一重構造と、⑥～⑧のカーペットの二重構造を比較すると、二重構造により衝撃値が低い値を示していることから、二重構造によるカーペットの全厚を高くすることで衝撃吸収機能を向上させることが示唆される。従って既存のカーペット上で屋内遊具を使用する場合、遊具周囲にループ構造のカーペットを敷設することが考慮できると考えられる。ただし実験では二重構造まで評価しているため、三重構造など全厚をさらに高くすれば衝撃吸収機能はさらに向上することが期待される。

一般的な住居の床面はカーペットの他にも、畳、マットレス、ジョイントマット等が敷設される場合があるとともに、家庭ごとに屋内遊具を設置する部屋の選択条件があるため、屋内遊具からの転落事故にかかる分析を継続するにあたっては、設置条件のシェアに沿った計測条件の検討が期待される。

参考文献

- 1) JPFA, 2014, 遊具の安全に関する基準 JPFA-SP-S:2014,
- 2) 近視予防フォーラム, 2020, 「新型コロナウイルスによって変化した子どもの生活実態」に関する調査, <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000002.000060256.html>
(retrieved May. 5, 2021)
- 3) Do 育, 2019, 極薄クライミングウォール設計のすべて - DIY で省スペース・脱圧迫感・存在感消しにこだわったオリジナルの一品, <https://ill-do-it.com/climbing-wall-design/>,
(retrieved May. 5, 2021)
- 4) 日本カーペット工業組合, 2019, 屋内転倒事故におけるカーペットの頭部防護効果の実証実験,
http://carpet.or.jp/publics/download/?file=/files/content_type/type019/12/202003041538503647.pdf, (retrieved May. 5, 2021)
- 5) 小坂橋竜雄, 他, 2006, 簡易型落下衝撃吸収性能評価装置の開発, 長野県工技センター研報, 1, M41-46
- 6) Maki KATO, Yoshie SHIMODAIRA, Takeshi SATO, and Hiromi IIDA, 2014, Simplification and Transformation of ASTM F1292 Measurement Procedure for Fall Accident Injury Criteria, *Industrial Health*, 52, 407-413
- 7) ASTM, 2017, F1292-17a Standard Specification for Impact Attenuation of Surfacing Materials Within the Use Zone of Playground Equipment,
- 8) 加藤麻樹, 村野良太, 松下明史, 佐藤 健, 2019, 公園遊具からの転落による頭部衝撃と地面コンディションとの関連性, *人間工学* 55(Supplement), 1B3-8-1B3-8
- 9) 東リ株式会社, <https://www.toli.co.jp/faq/carpet/30.html>, (retrieved May. 5, 2021)

3. 2種の衝撃評価装置（RSK, TRIAX）の計測性能比較実験

3.1. 目的

本研究室で使用している衝撃評価装置は2種類ある。すなわち JPFA で標準的に使用されている Microstone 社製の計測装置(以下 RSK)¹⁾と、ASTM1292²⁾で用いられている TRIAX E-missile³⁾ (以下 TRIAX) である。2019 年度までの計測では主に公園の床面を対象としていたが、昨今設置が増えたコンクリート遊具に対する計測にあたり RSK が想定範囲外にあることが確認されたため、そこで2020年度は ASTM1292 で用いられている測定機材を使用するに至った。以下、本報告は両者の計測機能にかかる比較の結果を示す。

3.2. 方法

センサーの計測機能の検査に用いるキャリブレーションパッドを落下面として、高さ60cmからの転落で生じる衝撃を上記2つの評価装置で Gmax および HIC を10回ずつ計測し、出力される結果について比較する。

3.3. 結果

図1,2 計測された G の 0.025msec ごとの時系列変化を示す。10回分の波形は Gmax の時刻を基準として同期させている。また表1に RSK と TRIAX の出力結果を示す。

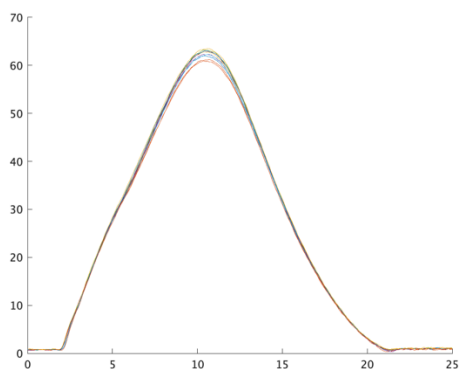


図1 RSK の計測結果

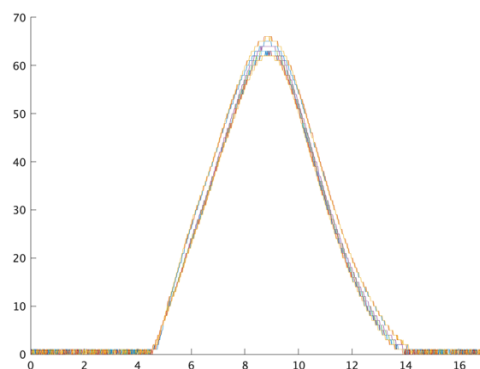


図2 TRIAX の計測結果

表1 RSK および TRIAX の出力結果

RSK				TRIAX			
#	Gmax	HIC	Height	#	Gmax	HIC	Height
1	62	168	60	1	64	188	60
2	60	161	59	2	65	194	60
3	62	172	60	3	65	194	60
4	62	169	60	4	64	171	60
5	63	174	60	5	63	166	60
6	62	168	60	6	63	163	60
7	63	172	60	7	62	160	60
8	63	174	61	8	62	159	60
9	61	163	60	9	62	158	60
10	63	177	60	10	61	155	60
mean	62.1	169.8	60	mean	63.1	170.8	60
sd	1	5	0.5	sd	1.4	15.4	0

表 1 より平均値の差の検定を行ったところ、Gmax ($t=1.87$, $df=18$, $p>0.05$), HIC($t=0.20$, $df=18$, $p>0.05$)であり、統計的な有意差は認められなかった。

3.3. 考察

計測前の時点で ASTM1292 において標準的に用いられている TRIAX とこれに準拠した RSK との機能に大きな差はないことが想定されており、結果はこれに倣う形となった。しかしながら統計的な有意差が認められなかった理由の 1 つとして、TRIAX の計測結果のうち HIC に変化が生じて分散値が高くなった点があげられる。計測を繰り返すうちに HIC が低くなるのは、キャリブレーションパッド上の波形の立ち上がりの加速度に差が生じることが原因と考えられる。また HIC 計算式に対して変数として G が与えられる時点での誤差範囲は公表されていないが、TRIAX による G の値は小数点以下が四捨五入された形で出力されるため、いわゆる丸め誤差が RSK よりも大きくなる特性がある。

ASTM および JPFA では計測ごとの誤差と落下時の落下面特性の硬化を考慮して計測を繰り返し、平均値をとって評価値とすることを定めており、上記計測についてもこれらの変動要因を十分に反映した範囲で出力されていると考える。従って今後の計測にあたってはいずれの機器を使用してもよいといえる。ただし RSK は低コストで導入できる反面、手で落下する点、防水性に乏しい点が課題として残る。TRIAX はコストが高いが、リモートで落下させられる点と、防水性、防塵性に優れる点が特徴である。そこで、今後の調査においては JPFA 方式をとりつつ、主に TRIAX を使用して評価することとしたい。

参考文献

- 1) 小坂橋竜雄,他, 2006, 簡易型落下衝撃吸収性能評価装置の開発, 長野県工技センター研報, 1, M41-46
- 2) ASTM, F1292-17a Standard Specification for Impact Attenuation of Surfacing Materials Within the Use Zone of Playground Equipment, 2017
- 3) Alpha Automation, Inc., TRIAX TOUCH-E missile, <http://triaxtouch.com/products/triax-touch-e-missile/> (2021.5.11 retrieved)
- 4) 日園施設業協会, 2018, コンクリート製遊具の安全基準の考え方, JPFA News, vol.06, <https://www.jpfa.or.jp/181011%20JPFA%20NEWS%20vol.6.pdf> (2021.5.11 retrieved)