

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

2020 年 6 月 19 日

早稲田大学人間科学学術院教授

加藤麻樹

## 概 要

近年コンクリート製遊具が新規に設置される傾向に鑑み、本研究ではコンクリート設置面への転落、転倒による頭部衝撃の評価を行った。評価基準はJPFA-SP-S:2014 で用いられるGmax200 以下と、HIC1000 以下である。その結果、今回の計測では、一定の条件においてGmax は約 2.2 cm、HIC は約 6.9 cmからの落下で基準値を超えると推定される結果となったが、JPFA の落下衝撃測定器はコンクリート等の硬い設置面の計測は仕様外であることが確認されており、米国における既往研究報告（約 15 cm）と比べても差があることから、ASTM 方式等で計測し直すなど検証することが必要である。また、いわゆるタコ型すべり台などのコンクリート製遊具の構造に対しては、傾斜面への転落により生じる衝撃の評価と、JPFA-SP-S:2014 に記載される遊具の設置基準の準用が必要である。

## 1. はじめに

国土交通省による「都市公園における遊具の安全確保に関する指針」<sup>1)</sup>が示す安全要求水準を実装するために、日本公園施設業協会(JPFA)が定める「遊具の安全に関する規準 JPFA-SP-S:2014」<sup>2)</sup>では国内で製造される公園遊具の安全基準を厳格に定めている。公園遊具の設置面として遊具からの落下による衝撃吸収機能を有する素材は限定され、コンクリートやアスファルト等の堅い設置面に遊具を設置してはならないことが明記されている<sup>2,3)</sup>。衝撃の基準は JPFA 方式の測定結果から最大加速度(Gmax)が 200G 未満、頭部傷害基準値(HIC)が 1000 以下と定められているが<sup>4)</sup>、これは一般的な設置面への転落を想定した値であり、コンクリートやアスファルト等の堅い設置面を想定していない。一方で硬い設置面への落下衝撃にかかる知見において、チアリーダの転落事故を想定した場合の衝撃を比較した結果、歩道のコンクリートの床面への落下衝撃の致命限界は約 15cm (0.5ft)、自転車道のアスファルトの場合で約 30cm (1ft)とされている<sup>5)</sup>。

一方「タコのすべり台」<sup>6)</sup>や「プリンすべり台」などのコンクリート製遊具についてはこれまで安全基準が明示されてこなかった。しかし昨今、老朽化した既存施設の撤去により新しく設置される機会が増えてきたことから JPFA では「コンクリート製の遊具の安全規準の考え方」をとりまとめて安全基準のハザードレベルを定義しており<sup>7)</sup>、特にコンクリート製遊具におけるハザードレベル 2 以上の危険について定量的評価が求められている。コンクリート製遊具において、遊具の表面に対する頭部衝撃の定量的評価は、転倒や転落の場合分けが複雑であることから、水平な設置面への落下試験における高さ条件よりも細分化が必要と考えられる。また 2019 年より国の指導により、ハザードレベル 3 と判定された遊具を一斉に使用禁止にする自治体が現れてきたことから、ハザードレベル判定を従来以上に統一的行う必要が生じ、今後、具体的な判定方法を定める必要がある。

## 2. 目的

コンクリート等の堅い素材に対する頭部衝撃は、低い場所からの転落であっても致命的であり、遊具設置面として不適当であるが、コンクリート製遊具に対する頭部衝撃は転落よりも転倒による発生が想起される。転落による頭部衝撃が設置面への垂直落下で発生するのに対して、コンクリート遊具における頭部衝撃の原因となる転倒は、衝突時の方向と衝突時直前の加速度により多様なケースになると考えられる。これまで定めてきた規準等は、経験則と海外の規準をもとにしており、今後はより信頼性の高い根拠データが示されることが望ましい。そこで上記の落下衝撃を致命的とする知見から、コンクリート面およびアスファルト面に対する落下を想定し、落下高さ条件を細分化した計測実験を行い、コンクリート遊具のハザードレベルの定義に必要な定量的基準策定の根拠データを収集し、基礎資料を構築することを目的とする。

### 3. 本研究における評価値の定義

JPFA における標準的な簡易型落下衝撃吸収性能評価装置<sup>8)</sup> (以下, 計測装置)を用いて, 1cm 刻みの高さを設定するゲージを用いて昇順に 1cm ずつ落下高さを設定し, 同じ高さから 3 回ずつ落下させる. JPFA 方式による測定<sup>2)</sup>では 1 箇所に対して 3 回落下させた平均を評価値としているのに対して, 堅い設置面の変形は極小であることと, 落下限界高さを推定するために Gmax 評価値と HIC 算出値の数を確保する必要があることから, 本研究において評価値と落下高さとの間で行う回帰分析では Gmax 評価値と HIC 算出値の全てをデータとして用いる.

計測装置の表示器には Gmax, HIC, 落下高さが, 小数点以下を切り捨てることにより整数値で表示されるため, 回帰分析に用いることが困難である. そこで本研究ではメモリに記録された原波形から Gmax, HIC, 落下高さを, MATLAB(Mathworks)を用いて直接産出する. 統計に R を使用し, 95%信頼区間と相関係数を算出するとともに炉バースト回帰分析を施す. 図 1 に計測装置で計測された 3 軸方向の加速度成分の合計の変化を時系列(msec)で示す.

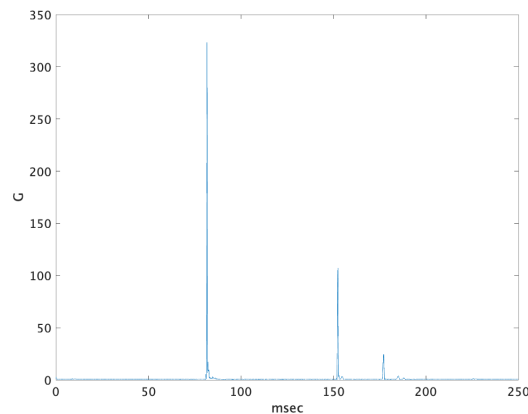


図 1 計測装置の出力結果の例 (コンクリート,高さ 3.3cm, HIC=436.4, Gmax=323.4)

- ・ Gmax : 評価装置の出力結果における最大値を回帰分析の目的変数とする.
- ・ HIC : 原波形から求めた計算値<sup>4)</sup>を回帰分析の目的変数とする.
- ・ 落下高さ : 厳密には計測装置が設置面に接触するまでの時間を用いる必要があるが, 落下高さが極端に低く, 落下時間の推定が困難であることと, 堅い設置面を対象とするため計測装置と設置面との接触時刻から Gmax までの期間が極少であることから, 本研究では自由落下開始時から Gmax 検出時までの時間を用いて落下高さの近似値を算出し, これを落下高さとして回帰分析の説明変数とする.

### 4. 計測

#### 4.1 アスファルト面への落下時に生じる頭部衝撃の測定

2019年12月19日に早稲田大学所沢キャンパスのフロンティアリサーチセンター敷地内に敷設されたアスファルト面を設置面と見立て、ここに垂直に落下した場合を想定し、 $G_{max}=200G$ 、 $HIC=1000$ の致命値に至る範囲で頭部衝撃の測定実験を行った。

$G_{max}$ と落下高さとの相関係数は0.905であり高い相関が認められた。回帰式からは約4.0cmの高さからの落下で致命値200Gを超えた。図2に $G_{max}$ と落下高さとの散布図および回帰分析の結果を示す。図中の実線は回帰直線を示し、波線は回帰直線の95%の信頼区間を示す。

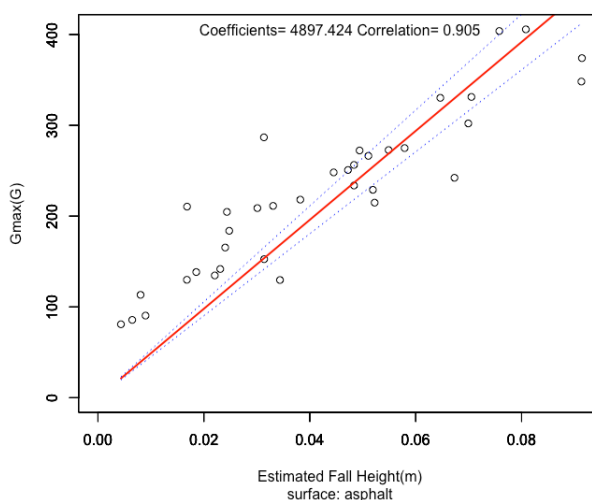


図2 アスファルト面への落下における $G_{max}$ と落下高さとの関連性

$HIC$ について8cm程度の落下時で致命値1000に近似したことから、計測機器の損傷を防ぐため計測を終了した。計測範囲について落下高さ $\text{と } HIC$ との相関係数は0.932であり高い相関が認められた。回帰式からは約13.6cmの高さ<sup>1</sup>からの落下で致命値1000を超えた。図3に落下 $HIC$ と高さとの散布図および回帰分析の結果を示す。図中の実線は回帰直線を示し、波線は回帰直線の95%の信頼区間を示す。

<sup>1</sup> 落下高さの計測範囲外の計算結果であることから参考値とする。以下の計測範囲外にある範囲の推定値を同様に参考値とする。

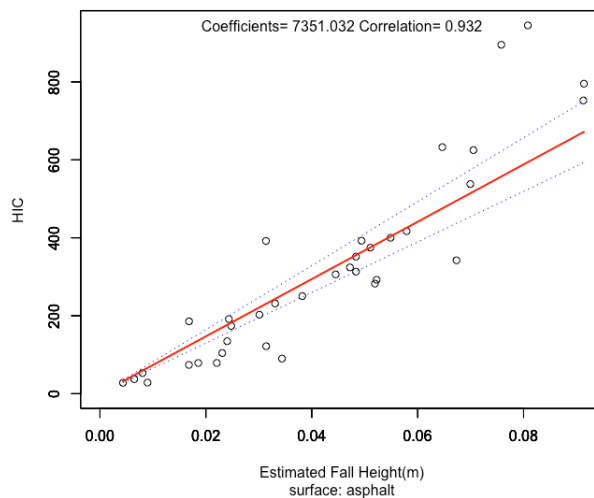


図3 アスファルト面への落下における HIC と落下高さとの関連性

#### 4.2 コンクリート面への落下時に生じる頭部衝撃の測定

2020年2月4日に早稲田大学所沢キャンパスのフロンティアリサーチセンター敷地内に敷設されたコンクリート面を設置面と見立て、ここに垂直に落下した場合を想定し、 $G_{max}=200G$ 、 $HIC=1000$ の致命値に至る範囲で頭部衝撃の測定実験を行った。

$G_{max}$  との落下高さとの相関係数は 0.847 であり高い相関が認められた。回帰式からは約 3.0cm の高さからの落下で致命値 200G を超えた。図 4 に  $G_{max}$  と落下高さとの散布図および回帰分析の結果を示す。図中の実線は回帰直線を示し、波線は回帰直線の 95% の信頼区間を示す。図では落下高さが約 6cm 以上になると  $G_{max}$  の変化量が小さい。

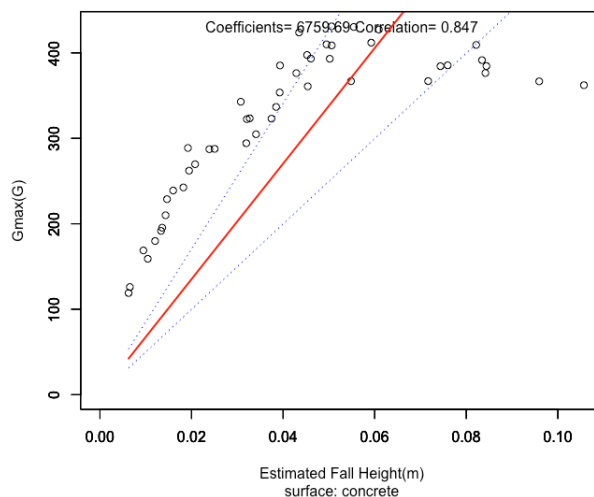


図4 コンクリート面への落下における  $G_{max}$  と落下高さとの関連性

HIC と落下高さとの相関係数は 0.88 であり高い相関が認められた。回帰式からは約 7.7cm の高さからの落下で致命値 1000 を超えた。図 5 に HIC と落下高さとの散布図および回帰分

析の結果を示す。図中の実線は回帰直線を示し、波線は回帰直線の95%の信頼区間を示す。図ではGmaxと同じく約4cm以上になるとGmaxの変化量が小さい。

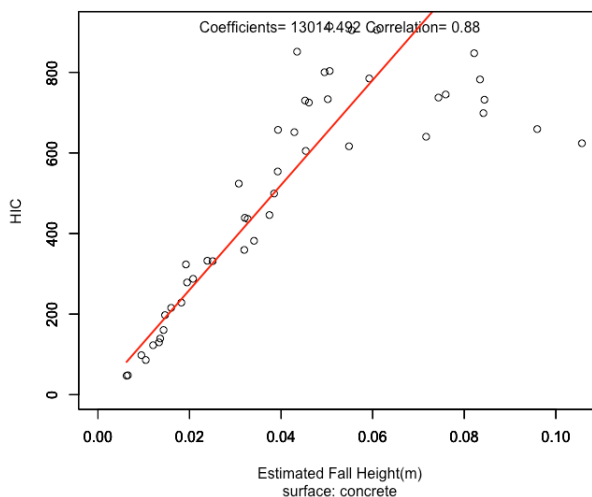


図5 コンクリート面への落下におけるHICと落下高さとの関連性

#### 4.3 芝生への落下時に生じる頭部衝撃の測定による線形性の検証

アスファルト面およびコンクリート面を用いた計測では、一定の落下高さを超えると計測エラーの発生が多くなるとともに、線形性が認められない逸脱値が多くなった。図4, 5における一定の高さ以上の値の変化量が小さい点について他の研究と比較すると、本研究で用いた計測装置と異なる装置を使用している知見<sup>9)</sup>では、落下高さに対する評価値の線形性が示されている点で異なる。本研究で用いた計測装置<sup>8)</sup>の設計における計測対象は公園遊具の設置面に限定しており、極度に堅い設置面への落下を想定しておらず、仕様外の計測とされていることが確認されたため<sup>2)</sup>、想定される設置面として2018年度報告<sup>10)</sup>において使用した床面の一つである芝生への落下試験による計測結果の線形性の検証を行った。

2020年4月3日に早稲田大学所沢キャンパスのフロンティアリサーチセンター敷地内に敷設された芝生を設置面と見立て、ここに垂直に落下した場合を想定し、アスファルトの設置面の致命の高さとされる30cm<sup>5)</sup>まで範囲で頭部衝撃の測定実験を行った。

Gmaxとの落下高さとの相関係数は0.872であり高い相関が認められた。計測範囲全体で致命値には至らなかった。回帰式からは致命値200Gに至るのは約90.1cmと推定される。図6にGmaxと落下高さとの散布図および回帰分析の結果を示す。図中の実線は回帰直線を示し、波線は回帰直線の95%の信頼区間を示す。30cmの高さに至るまで回帰直線と評価値との乖離はコンクリート面への落下の場合よりも小さい。

<sup>2)</sup> (株)マイクロストーン <http://www.microstone.co.jp/>

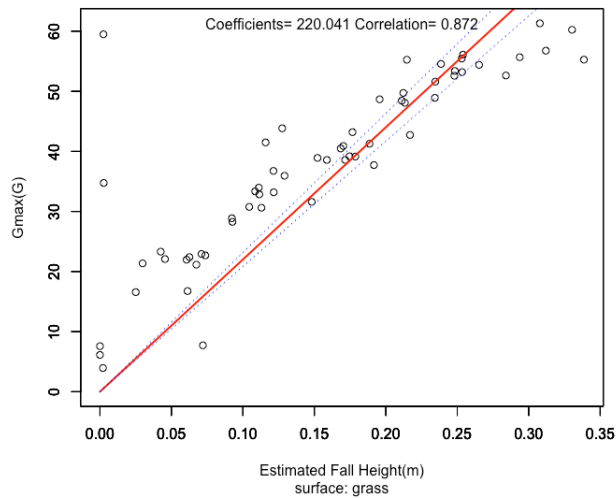


図6 芝生への落下における Gmax と落下高さとの関連性

HIC との落下高さとの相関係数は 0.702 であり高い相関が認められた。計測範囲全体で致命値には至らなかった。回帰式からは致命値 1000 に至るのは約 3.91m と推定される。図 7 に HIC と落下高さとの散布図および回帰分析の結果を示す。図中の実線は回帰直線を示し、波線は回帰直線の 95% の信頼区間を示す。HIC についても 30cm の高さに至るまで回帰直線と評価値との乖離はコンクリート面への落下の場合よりも小さい。

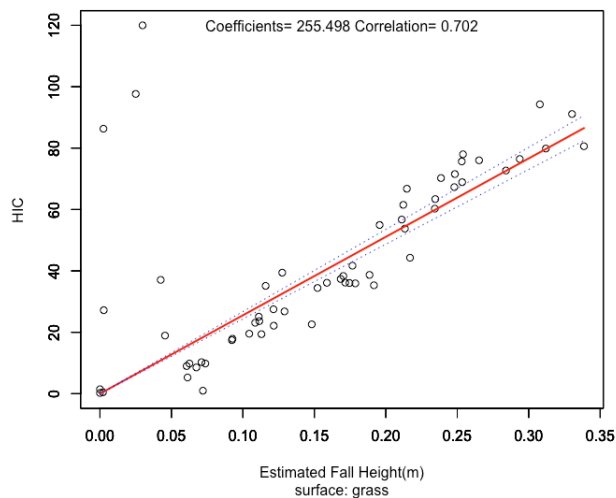


図7 芝生への落下における HIC と落下高さとの関連性

#### 4.4 線形性を仮定した場合の堅い設置面への落下時に生じる頭部衝撃の推定

コンクリート面を用いた結果において落下高さ 4~6cm を超えると評価値の変化量が小さくなるが、芝生を対象とした測定の結果に鑑み、回帰分析の対象範囲を前述のコンクリート面における落下高さを致命値に至る高さまでと仮定し、評価値の一定の線形性を仮定した上でコンクリート面への落下における回帰分析を行った。

Gmax と落下高さとの相関係数は 0.965 であり高い相関が認められた。回帰式による推定



では約 2.2cm で致命値 200G に至った. 図 8 に Gmax と落下高さとの散布図および回帰分析の結果を示す. 図中の実線は回帰直線を示し, 波線は回帰直線の 95%の信頼区間を示す.

HIC と落下高さとの相関係数は 0.967 であり高い相関が認められた. 回帰式を用いた推定では約 6.9cm で致命値 1000 に至った. 図 8 に Gmax と落下高さとの散布図および回帰分析の結果を示す. 図中の実線は回帰直線を示し, 波線は回帰直線の 95%の信頼区間を示す.

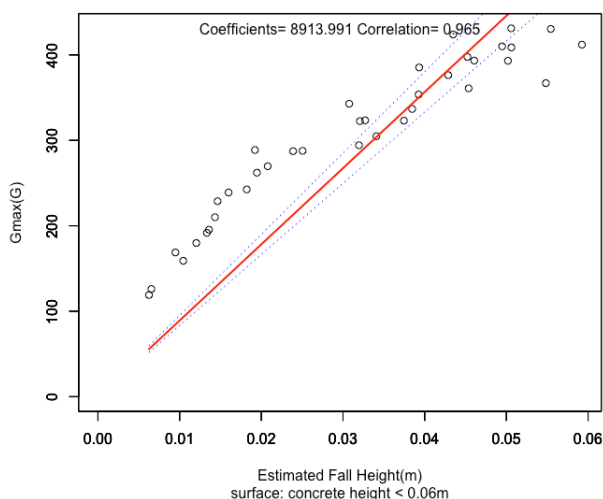


図 8 コンクリートへの落下における落下高さ範囲を限定した Gmax と落下高さとの関連性

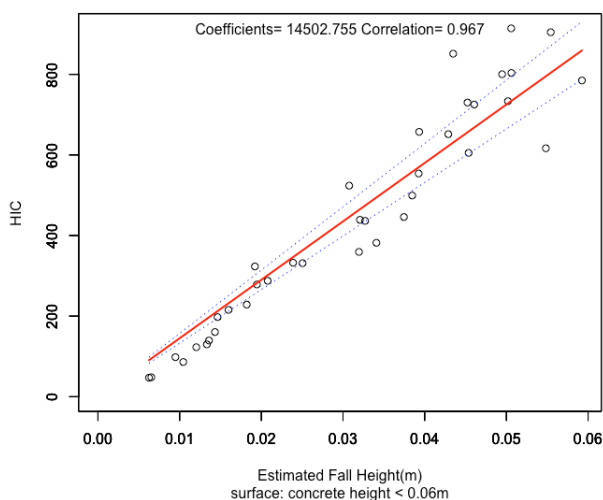


図 9 コンクリートへの落下における落下高さ範囲を限定した HIC と落下高さとの関連性

## 5. 考察

### 5.1 評価値の線形性と計測装置の特性

上記の知見<sup>9)</sup>にも示される通り, 50cm~3.0m の範囲では落下高さと衝撃の評価値との間には高い相関が認められ, 線形性があると考えられる. しかし対象範囲が 0.5m 未満の低い範囲に限定されることと, 硬い設置面への転落による傷害発生は一般的には自明であるこ

とから、本研究で取り扱われた範囲にかかる詳細な評価は従来あまり行われてこなかった。低距離からのコンクリート面への衝突が致命傷になるとする知見は乏しく、本研究が示した低高度からの落下衝撃の評価にはデータの蓄積が必要である。

4章において示した結果ではコンクリート設置面に対する6cm以上の高さからの落下に対する計測値は横ばいの傾向を示しており、線形性を認めることが困難である。上記の通り本計測装置の設計使用においてコンクリート等の硬い設置面を想定していないことが確認されているため、6cm以上の落下に関する計測装置の特性を検討する必要性が生じた。そこで計測装置が想定する設置面として、2018年研究報告でも取り上げた芝生をとりあげ、低高度からの落下に対する線形性の検証を行った結果、30cm程度までの範囲で十分な相関と線形性が認められた。本研究で使用した計測装置の計測特性として、硬い設置面に対する評価に関しては妥当性を認めることが困難であるため、設計仕様において想定される設置面に限定して用いることが推奨されるといえる。

芝生を用いた計測結果からは評価値の線形性を推定することが可能であることが示されたため、計測装置特性の仕様外についても回帰式を伸ばして致命の高さの推定を行ったが、本来の統計的予測モデルとしての適切性は低い。従って今後さらに詳細な計測は、知見<sup>5)</sup>で用いられるような、硬い設置面に対する計測を仕様を含む装置<sup>12)</sup>の使用により可能となると考えられる。

## 5.2 堅い設置面に対する頭部衝撃測定の特徴

4章において示した堅い設置面は変形性が低く、衝撃吸収機能がほとんどないことから、計測装置が落下した際の筐体の微細な動きを目視で確認するのは困難であり、衝撃発生から停止までの期間が極めて短い点が特徴といえる。図1が示す通り、停止までの間に何回かに分けて運動エネルギーを消費しているため、いわゆる完全非弾性衝突(反発係数=0)ではないといえるが、目視困難な範囲において、設置面または計測装置筐体の変形による衝撃吸収が発生していると考えられる。

図2,4,8が示す通り、落下高さが2cm程度でGmaxが致命値200Gを超えることから数値的にはコンクリートやアスファルト面への衝突によって致命的な事故の発生につながる可能性がある。一方でJPFAおよびASTMでは危険評価指標としてHICとGmax両方を用いているのに対して、欧州の安全基準を示すEN1177ではHICのみを致命値の指標として用いている<sup>13)</sup>。そこでHICのみに着目すると図3,5,9の結果からは7cm程度でHICが致命値1000を超えるため、Gmaxの基準をそのまま適用するとほぼ全てのコンクリートの設置面はハザードレベル3に該当する結果となる。コンクリート製遊具において転落事故が懸念される構造例が示されている公園遊具の安全確保に関する行政評価からは<sup>11)</sup>、既存する遊具の改善が図られる必要がある。

典型的な要改善点としては公園遊具の基礎が挙げられる。基礎として用いられるコンクリートは設置面よりも100mm以上下げなければならないが<sup>2)</sup>、経年により表面舗装が薄くなることで露出する場合がある。したがって転落可能性のある遊具の場合はガードレール等

の設置がない 600mm 以下であっても致命的になることからハザードレベル 3 に該当する。

### 5.3 コンクリート製遊具のハザード評価への適用

上記の通り直接の転落で発生する衝撃は高さ 10cm 未満でも致命的になり得ることから、コンクリート構造を含む遊具において落下の危険がある形状は望ましくない。

公園遊具の設置箇所周辺は関東地方ではダスト舗装、関西地方では真砂土舗装される場合が多く、いずれもある程度の衝撃吸収機能を有するのに対し、コンクリートやアスファルトなどの堅い素材の舗装面はほとんど衝撃吸収機能が認められず、転倒や転落が致命的になりやすい。これは一般的知識としても周知されることから厳密な計測の必要性が低かった。

昨今、上述の通りコンクリート製遊具の更新時期を迎えたことでコンクリートに衝突、転落した際の頭部衝撃の評価の必要性が生じて定量的評価の必要性が上がった。設置面としてのコンクリートの不適切性は基準で示されている一方で、複雑な形状のコンクリート製遊具に対して転落、転倒により頭部が衝突する場合への基準の直接的な適用は困難である。

例えばプリンまたは富士山の形状をもつコンクリート製遊具の場合は転落事故のリスクはほとんどないと考えられるが、転倒による頭部衝突リスクが残ると考えられる。ただ遊具表面に対して垂直に衝突しても傾斜によって滑ることから衝撃を受け流すことができるため、本研究で得られた結果よりも衝撃が吸収されると考えられる。設置面への落下を基準として傾斜面における危険性を評価するためには改めて衝撃測定が必要と考えられる。

一方で知見にも見られるタコ型の滑り台など複雑な形状を持つコンクリート製遊具の場合は、設置面ではなく構造の一部としてコンクリート製の形状を有するとともに、滑り台の手すり等にあたる形状部分によじ登り、飛び降りるなどの行為が発生する可能性がある。その場合 600mm 以下の高さからの転落であっても頭部が直接コンクリート面に衝突する可能性があるが、複雑な曲面で構成される構造であるため、落下高さを水平面としている現在の安全基準<sup>2)</sup>を準用して安全基準を設けるとともに、点検作業の指針を構築する必要がある。例えば転落可能性のある形状を有する場合、傾斜面に対する評価とともに、落下箇所にあたる部分へのコンクリート敷設の禁止や、よじ登ることができない形状にするなどの形状にかかる指針が求められる。

## 6. まとめ

コンクリート等の硬い設置面への転落、転倒による頭部衝撃の評価を行った。その結果、コンクリートに対しては一定の条件において Gmax が約 2.2cm、HIC が約 6.9cm からの落下により基準値を超えると推定された。またアスファルトに対しては一定の条件において Gmax が 3.0cm、HIC が約 7.0cm からの落下により基準値を超えると推定された。ただし、6cm 以上の高さからの転落における計測値には線形性が保たれておらず、いずれの結果も落下高さと同評価値との間で理論上の線形性を仮定しなければならない。JPFA の落下衝撃測

定器はコンクリート等の硬い設置面の計測は仕様外であることが確認されており、米国における既往研究報告（約 15 cm）と比べても差があるため、ASTM 方式等で計測し直すなど改めて検証する必要がある。

なおコンクリート遊具の傾斜面への転落は計測範囲に含まれていない。今後、いわゆるタコ型すべり台などのコンクリート製遊具の構造に対しては、傾斜面への転落により生じる衝撃の評価と、JPFA-SP-S:2014 に記載される遊具の設置基準の準用が必要である。

## 謝辞

本研究は日本公園施設業協会(JPFA)より 2019 年度受託研究として早稲田大学人間科学学術院生活人間工学研究室（代表、加藤麻樹）において実施された。実験にあたっては角南勇二氏（JPFA 常任理事）、丸山智正氏（JPFA 規準委員長）より多大な協力を得た。記して謝する。

## 参考文献

- 1) 国土交通省, 2014, 都市公園における遊具の安全確保に関する指針
- 2) 日本公園施設業協会, 2014, 遊具の安全に関する規準 JPFA-SP-S:2014
- 3) U. S. Consumer Product Safety Commission, 2015, Public Playground Safety Handbook
- 4) ASTM, F1292-17a Standard Specification for Impact Attenuation of Surfacing Materials Within the Use Zone of Playground Equipment, 2017
- 5) 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
- 6) (株)パークフル, 2018, 日本縦断！タコすべり台がある公園特集, <https://parkful.net/2018/01/pickup-octopus-park/>
- 7) 日本公園施設業協会, 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>
- 8) 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
- 9) David Eager, Hasti Hayati, 2019, Additional Injury Prevention Criteria for Impact Attenuation Surfacing Within Children's Playgrounds, Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, 5(1), <https://asmedigitalcollection.asme.org/risk/article/366082/Additional-Injury-Prevention-Criteria-for-Impact>
- 10) 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, JPFA;早稲田大学人間科学学術院生活人間工学研究室
- 11) 中国四国管区行政評価局, 2019, 都市公園における遊具の安全確保に関する行政評価・監視, [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000604711.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000604711.pdf)
- 12) Alpha Automation Co., Ltd., 2015, TRIAX2015 Surface Impact Test System,

www.triax2015.com

- 13) British Standard Institution, BS EN 1177:2018 Impact attenuating playground surfacing. Methods of test for determination of impact attenuation, <https://www.bsigroup.com/>