

空気膜遊具の安全性に関する研究

株式会社 イオンファンタジー

1. プロジェクト目的

屋内遊具施設で人気が高い空気膜構造遊具を取り上げる。遊具が外部から力を受けると力学特性が変化する。この特性変化を示すデータを収集するための計測装置の開発と分析を行う。

近年、空気膜構造遊具で子どもが怪我を負う事故が多発している^[1]。同遊具は、クッション部において衝撃吸収性を有するため着目され設置数が急激に増加している。しかし、遊具の力学特性が解明されておらず科学的根拠に基づく安全基準や施設運用法が皆無である。

空気膜構造遊具に重量物を落下させたときに発生する衝撃力を計測するためのセンシングシステムの開発を行い、単独での落下や、複数人の飛び跳ね（反復衝撃下）における遊具の特性変化を示す指標として衝撃力を収集して、子どもの大腿にかかる衝撃力（推定値）を求める。

2. 大腿インパクト

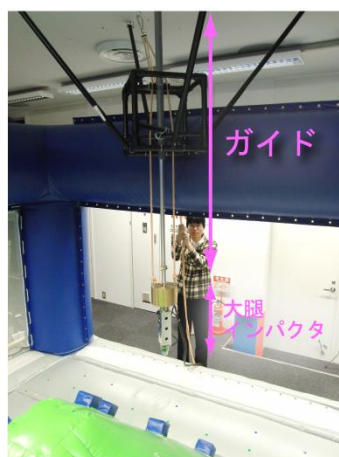
子どもが遊具で飛び跳ねた着地の瞬間に発生する衝撃力を計測するための装置を開発した。飛び跳ね時に大きな衝撃力を受ける子どもの大腿を模した計測装置として大腿インパクト（図1）を開発した。模した子どもは各部位の平均的な質量がわかっている3歳児とした。

また、反復衝撃下における遊具の特性変化は瞬間的に起こるため、大腿インパクトの治具として図2に示すガイドを作成した。このガイドにより、手で引き上げて落下させることで同一地点において複数回の計測を可能とした。



図1 大腿インパクト

図2 大腿インパクト用ガイド



インパクト性能	
荷重計間距離	370.0mm
大腿インパクト重量	2.35kg
おもり	5kg, 10kg, 15kg
加速度計性能	
計測範囲	$\pm 1960\text{m/s}^2$
軸数	3軸
分解能	1.60m/s^2
サンプリング周期	1kHz
加重計性能	
計測範囲	$\pm 20\text{kN}$
軸数	垂直方向
分解能	5.00N
サンプリング周期	1kHz

表1 大腿インパクトの性能

3. 単独落下により発生する衝撃力

本研究で使用する空気膜構造遊具（図3）は複数の膜材をつなぎあわせて作られている。膜表面にはつなぎ目の部分や、オブジェクトが付けられた場所がある。地点により力学特性の変化が考えられるため、遊具表面の様々な地点において衝撃力の変化を計測する。

本実験の計測には加速度のセンシングシステムである多点加速度同時計測システム^④を用いて、重量7.26kg、高さ1.5mの条件で重量物が自由落下した際に受ける衝撃力を、遊具表面の様々な地点に対して計測する。また、計測したうち2地点において発生する衝撃力が重量と落下高さの変化に対してどの程度の変化量となるかを調べるため、大腿インパクトを用いて重量と落下高さを変えて衝撃力を計測する。

子どもが飛び跳ねられるのは図の色枠で囲った膜の部分である。この部分で発生する衝撃力を計測する。実験では遊具の対称性より図3の手前半分のみで計測をする。この遊具の内圧は計測の結果から、ゲージ圧で10.12hPaである。

遊具全体の各地点における衝撃力の計測結果は図4に示す通りとなった。各膜の中心部に比べて円周付近では衝撃力が増加している様子が分かる。遊具上にあるオブジェクトとしての柱による影響は見取れない。膜Aよりも小さな寸法の膜B、膜Cでは相対的に衝撃力が大きくなる傾向となった。

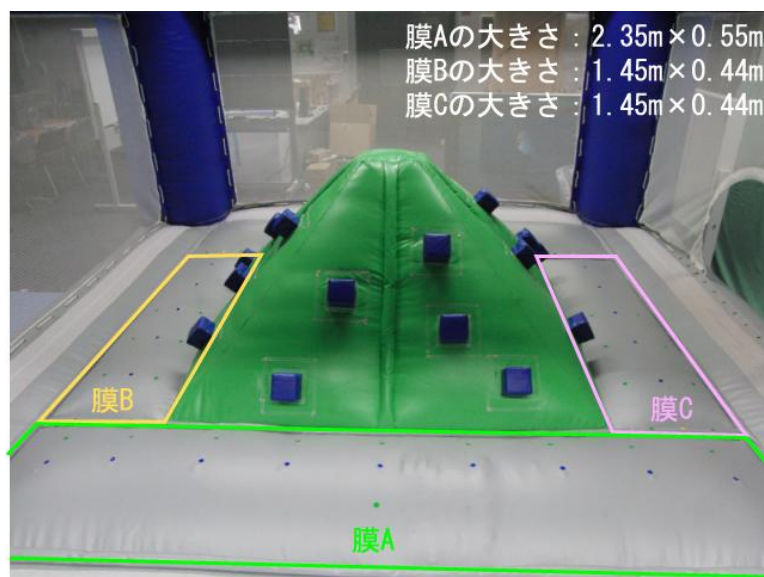


図3 本実験で使用する空気膜構造遊具

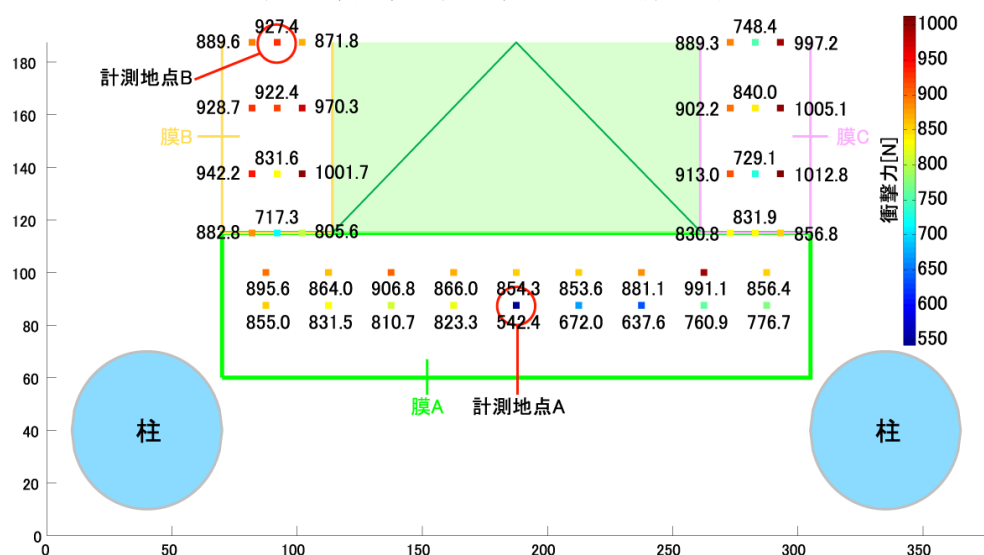


図4 遊具全体の各地点で発生する衝撃力

地点 A と地点 B における衝撃力の変化の傾向は、両地点で重量に比例し、遊具接触直前の速度である接触速度に比例する関係となった。これらの関係から、単独落下による衝撃力を実験データから算出した結果が、地点 A (図 5) と地点 B (図 6) である。カラースケールは同一スケールである。地点 B の方が、地点 A と比べて全体的に僅かに衝撃力が大きい傾向となっている。

6 才男児の体重パーセンタイル値 95%で 24.9kg^[3]かつ、落下高さ 1.5m、すなわち接触速度 5.42m/s²の条件で、地点 A において子ども的大腿に掛かる衝撃力は 2777N となる。地点 B においては 2940N となる。

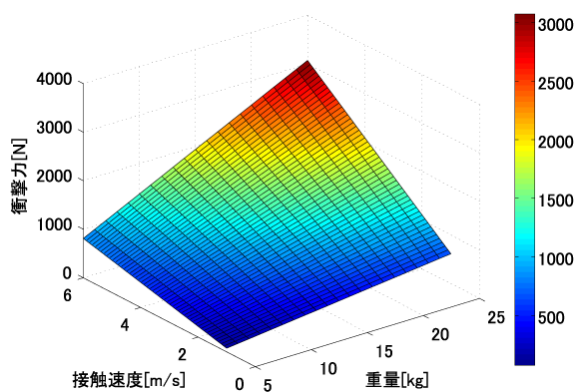


図5 地点Aにおける衝撃力の算出結果

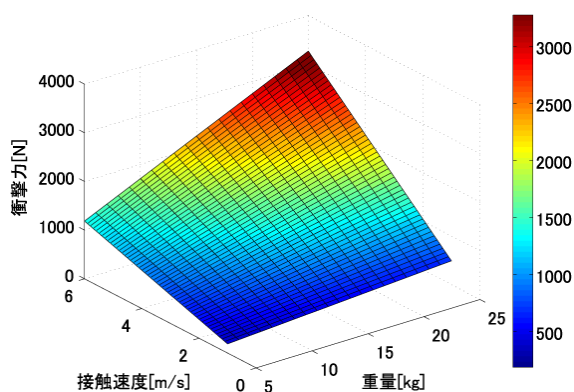


図6 地点Bにおける衝撃力の算出結果

4. 反復衝撃下における力学特性の変化

計測地点から離れた地点で大人が飛び跳ねることで子どもが受ける衝撃力の変化を計測する。

子どもの代わりとする大腿インパクトによる計測は地点Aとして、地点Aと反対側の場所で大人（体重約60kg）が飛び跳ねることで遊具に反復衝撃を与え、遊具の力学特性変化を起こす。実験条件を表2に示す。

力学特性の変化は時々刻々と変化するため、大腿インパクトの落下タイミングと遊具の特性変化のタイミングにより発生する衝撃力が増加減少する。多数回の計測から得られた衝撃力から最大値と最小値と単独落下での衝撃力を図7に示す。人が飛び跳ねることで遊具の力学特性が変化していることが確認できる。単独時と比べた時、反復衝撃下における衝撃力の増加率は最大で53.3%を示した。

表2 反復衝撃下における力学特性変化計測の実験条件

重量	7.35kg、12.35kg、17.35kg、22.35kg
落下高さ	0.3m、0.4m、0.6m、1.0m
内圧	10.12hPa

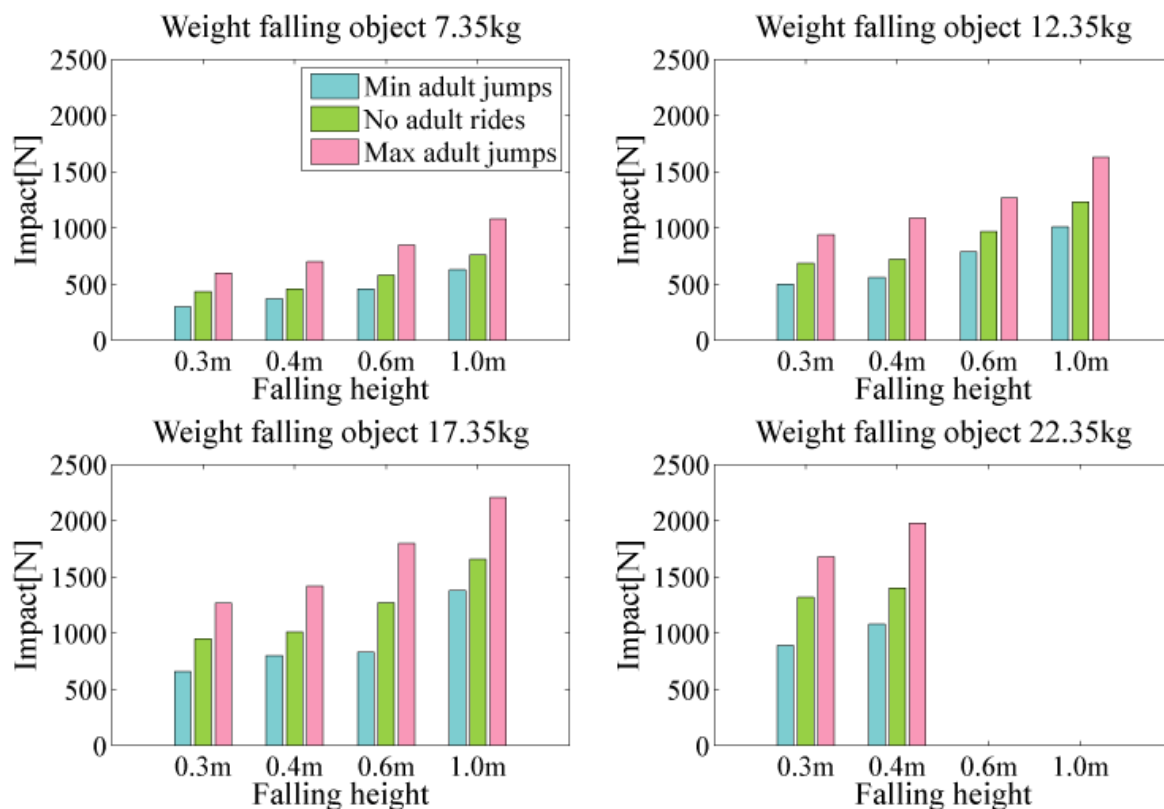


図7 反復衝撃下における衝撃力の変化

5. 内圧変化による単独落下の衝撃力と反復衝撃下における力学特性の変化

遊具の内圧を通常時の外部から力を受けていない静的な状態におけるゲージ圧で 10.12hPa から減圧させた時の衝撃力を計測する。実験条件を表 3 に示す。計測地点は上記の地点 A とした。

同様に内圧を通常時から減圧させた条件で、遊具の地点 A と反対の地点で大人（約 60kg）が飛び跳ねた時に起こる内部の空気の移動による瞬間的な内部状態が発生した時の、落下による衝撃力の計測を行った。重量 12.35kg、落下高さ 0.7m の条件で内部圧力を減圧させ、各条件で 40～50 回の計測を行った。

表 3 内圧減少による力学特性変化の実験条件

重量	12.35kg
落下高さ	0.7m
内圧	10.12hPa、7.60hPa、6.42hPa、5.90hPa、 4.62hPa

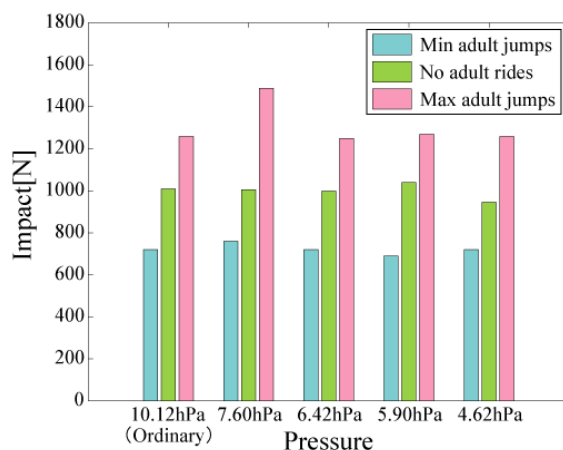


図8 内圧減少による衝撃力への影響

それぞれの実験結果を図8に示す。大人が飛び跳ねて遊具に反復衝撃を加えることで遊具は力学特性を時々刻々と変化させている。力学特性の変化のタイミングと大腿インパクトの落下タイミングによりインパクトが受ける衝撃力が増加減少する。同一条件で計測した衝撃力のうち、最大と最小の値を図に示した。この図から内圧を変化させることによる衝撃力への影響が見られない。

6. 結論と考察

子どもが単独で高所からの転落や飛び跳ねに寄って発生する衝撃力は、膜の大きさや結合部により若干の増加が見られ、オブジェクトによる影響はみられなかった。遊具上で大人が飛び跳ねることで空気膜構造遊具の特性変化起こり、他地点において単独時と比べて大きな衝撃力が発生することが実測から判明した。空気膜構造遊具に動的な外力が加わっていない静的な状態の通常で使われている内圧から、圧力を減少させることによる遊具特性変化への影響は見られない。運用としては、遊具上の高所部へのよじ登りや利用者の体重制限による対策が考えられる。

7. 今後の展開

開発したインパクトなどの計測装置により、力学特性の変化を計測することが可能となった。遊具の膜の形状や、内部にある膜の構造などの様々な遊具で計測を行い、データの蓄積を進めていくことで、遊具の形状などの安全基準に活用していくことが重要である。

8. 参考文献

- [1] 国民生活審議会総合企画部会 第2回「作る」ワーキンググループ 資料4-2-1、2007.
- [2] 所 祐希, 西田 佳史, 溝口 博, “空気膜構造遊具の動力学分析のための多点加速度同時計測システムの開発,” 第11回 SICE システムインテグレーション部門講演会(SI2010)講演論文集.
- [3] 社団法人 人間生活工学研究センター(HQL), 子どもの身体寸法データベース.