

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：43701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11382

研究課題名（和文）体操競技の跳躍板における踏み切りに適した範囲の解明

研究課題名（英文）The optimal takeoff area on the springboard in the gymnastic vault

研究代表者

佐野 真也（Sano, Shinya）

岐阜市立女子短期大学・その他部局等・准教授

研究者番号：00461880

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、はじめに実際の踏み切り動作と同程度の負荷を跳躍板に加えられる重錘落下衝撃試験の条件を見出した。その過程で、実際の踏み切り動作と同程度の負荷を加えた場合には、跳躍板の機種間にみられる力学的特性差は技の実施に影響し得る大きさであることが明らかとなった。これらの結果は、跳躍板の規格に未だ不十分と考えられる点がみられることや改善の方向性を示唆していた。見出した条件で重錘落下試験を行った結果、跳躍板の踏み切りに適した範囲は、先端部付近の狭くピンポイントなものではなく、先端付近から中央にかけての比較的広い範囲であることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

跳躍板の踏み切りに適した範囲を明らかにしたことで、試行錯誤のみで踏み切り位置を絞り込む必要が無くなっていき、それによって、経験のみに頼るよりも効率的で安全なトレーニングが可能になっていくことが期待される。さらに、現時点で存在している跳躍板で踏み切りに適した範囲が明らかになっただけでなく、将来、跳躍板の新型モデルが登場した時に、本研究で確立した機械的な特性試験を実施するだけで踏み切りに適した範囲を予測することも可能になるため、本研究の成果は持続的な貢献になっていくことが期待される。

研究成果の概要（英文）：This study identified the conditions for a drop weight impact test that can apply a load to the springboard equivalent to that of an actual takeoff motion. During this process, it was revealed that when a load equivalent to that of an actual takeoff motion is applied, the differences in mechanical properties between springboards manufactured by different companies, despite adhering to the same standards, are significant enough to affect the execution of take-off motion. These findings suggest that there are still aspects of the springboard standards that are considered inadequate and indicate directions for improvement. The results of the drop weight impact test under the identified conditions showed that the optimal takeoff area on the springboard is not a narrow, pinpointed region near the tip, but rather a relatively broad area extending from the tip towards the center.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：力学的特性 跳馬 重錘落下衝撃試験

1. 研究開始当初の背景

体操競技の跳馬では、バネが組み込まれた跳躍板を利用して踏み切りを行っており、その力学的特性（弾性、緩衝性など）は踏み切り後の力学的身体運動（重心速度、回転速度など）に強く影響する。選手や指導者は、跳躍板は踏み切り位置によって「弾みやすさ」や「硬さ」に差があるのではないかと経験や感覚に基づいて考えている (Coventry et al. 2006; Taylor et al. 1972)。跳躍板は、上面の後方傾斜とコイルばねの前方配置による前後非対称な構造で、さらに、性質の異なる多数のパーツ（コイルばね、板ばね、クッションパッド、緩衝ゴムなど）で構成されている。したがって、踏み切り位置によって力学的特性に差があることに疑いの余地は無い。しかしながら、踏み切り位置による跳躍板の力学的特性の差および力学的身体運動への影響は定量的にも定性的にも検証されたことがなく、情報が皆無である。そのため、選手や指導者は跳躍板のどこを踏み切るのが良いかについて確証が得られないままとなっている。選手は試行錯誤によって踏み切る位置を絞り込んでいくが、そこが本当に踏み切りに適した位置であるかは不明である。また、絞り込む過程で適さない位置を踏み切ってしまうことが技の失敗の要因となり、傷害を負うリスクも伴う。

国際体操連盟は、機能や特性の統一性を保つことを目的として、公認試験を経た跳躍板を使用することを課している。そのため、跳躍板はどこで踏み切っても特性に大差が無いよう作られているはずだと信じている選手や指導者も存在する。しかし、試験されているのは跳躍板表面の非常に狭い範囲のみ（20cm×5cm）であり、片足分にも満たない。したがって、跳躍板のどこで踏み切っても同じ特性になるということまでは保証できない公認試験なのだが、この事実はほとんど知られていない。むしろ、試験される範囲の狭さも要因となって、跳躍板は部位によって特性に大きな差がある可能性が高いと考えられた。

2. 研究の目的

本研究では、“跳躍板のどこで踏み切るのがよいか”という現場の疑問に対して根拠ある示唆を与えるため、跳躍板の踏み切りに適した範囲（位置と広さ）を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

跳躍板における踏み切り動作は、物体に大きな衝撃力が発生する衝突現象である。衝突現象における力学的特性を調べるためには、現実に近い負荷条件（衝撃力の大きさ、衝突時間など）で試験を行う必要がある。そこで、はじめに、実際の踏み切り動作と出来る限り同等の負荷を加えられる特性試験装置ならびに試験条件の確立に取り組んだ。作成した装置は、底面が直径 10 cm の円形である重錘（20～60 kg の範囲で 10 kg 単位で重量の変更可能）を 0～140 cm（無段階調整可能）の高さから跳躍板に落下させ、重錘が跳躍板に衝突している時の衝撃力を時系列で測定するものである。重錘は 10 kg ずつの円柱状のパーツをボルトで強固に固定し、目的の重量となるように調整できるものとして作成した。重錘は台座に電磁ホルダーで固定し、台座ごとウィンチで吊り上げることで落下高を無段階で調整する。そして、電流を遮断し電磁ホルダーから瞬時に切り離されることで重錘が落下する。錘に加速度センサーを取り付けておき、加速度の時系列データに重



図1 重錘落下衝撃試験機

錘の質量を乗じることで重錘と跳躍板の間に加わる力のデータを測定する。測定した力の時系列データから、緩衝性やエネルギー吸収性など、跳躍板の力学的特性を表すデータを抽出した。

試験装置の完成後、実際の踏み切り動作と同等の負荷が加えられる試験条件を見出すことに取り掛かった。国際体操連盟の公認を受け、世界選手権およびオリンピックで使用実績のある国内外メーカーの跳躍板（Gymnova 社製、Janssen-Fritsen 社製、Senoh 社製）を対象とし、重錘の重量と高さを様々に組み合わせて特性試験を繰り返した。重錘を落下させるのは、跳躍板の先端から 25cm の位置とした。これは、跳躍板の規格試験における基準位置と同一である。跳躍板に重錘を落下させた際に得られる加速度データ（1000Hz）を基に、跳躍板に加わる力の経時的変化と最大値、重錘の跳ね返り高、跳躍板の最大変形量、エネルギー吸収性などの力学的特性値を測定していった。得られた測定値を、先行研究で報告されている踏み切り動作時の力の大きさと比較することで、実際の踏み切り動作と同程度の付加が加わるような重錘の重量および落下高の組み合わせを検証していった。

実際の踏み切り動作と同程度の負荷が加わる条件を見出した後、跳躍板上面の場所による力学的特性の差を検証していった。体操選手が現実的に踏み切りを行うと考えられる範囲を検証の対象とし、跳躍板先端より 25 cm から 85 cm の範囲とし、10 cm ずつ重錘落下位置を変えて特性試験を実施していった。跳躍板上面は手前に向かってラウンド状に傾斜しており、位置により傾斜角が異なる。そのため、跳躍板上面の重錘落下位置の角度を 0 ± 5 度の範囲に調整するため、傾斜角を変えられる強固な土台を作成し、その上に跳躍板を設置して特性試験を実施していった。

4. 研究成果

本研究では、重錘落下衝撃試験において、重錘が跳躍板に落下した時の力の最大値が $6,300 \pm 1,000\text{N}$ 、接触時間が $0.10 \sim 0.15\text{s}$ となるような重錘質量および落下高の組み合わせを、実際の踏切動作と同程度の負荷を加えられる条件とした。これらの力の最大値および接触時間は、先行研究によって示されている実際の踏切時の値に基づいて決定した。

はじめに、一つの跳躍板（Janssen-Fritsen 社製）を対象として、重錘の質量および落下高を様々に組み合わせて網羅的に重錘落下衝撃試験を行っていき、候補となる組み合わせを絞り込んでいった。その結果、重錘質量と落下高の組み合わせとして、 $40\text{kg}80\text{cm}$ 、 $40\text{kg}90\text{cm}$ 、 $50\text{kg}60\text{cm}$ 、 $50\text{kg}70\text{cm}$ 、 $60\text{kg}50\text{cm}$ 、 $60\text{kg}60\text{cm}$ が候補となった。

次に、本研究で検証に用いる全ての跳躍板（Gymnova 社製、Janssen-Fritsen 社製、Senoh 社製）を対象に、候補となった重錘質量と落下高の組み合わせで重錘落下衝撃試験を行なっていった。その結果、重錘質量が 40kg の二つの組み合わせでは、力の最大値は全ての跳躍板で目標の範囲内であったが、接触時間は目標の範囲から外れる跳躍板がみられた（図 2）。そのため、重錘質量が 40kg の二つの組み合わせは、いずれも候補から除外した。重錘質量が 50kg の二つの組み合わせでは、力の最大値と接触時間のいずれも、全ての跳躍板で候補の範囲内であった（図 3）。

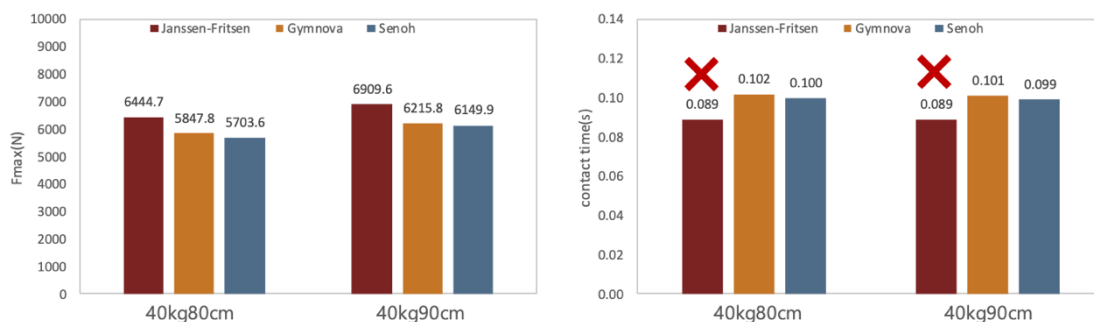


図 2 重錘質量 40kg の組み合わせでの力の最大値(左)および接触時間(右)

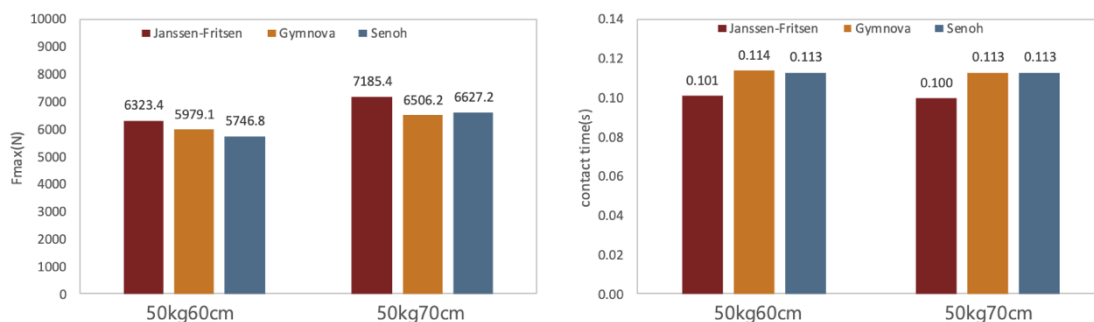


図 3 重錘質量 50kg の組み合わせでの力の最大値(左)および接触時間(右)

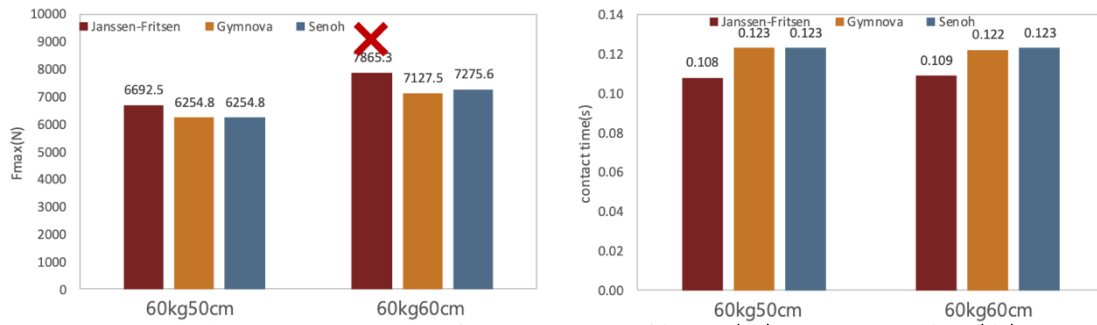


図4 重錘質量 60kg の組み合わせでの力の最大値(左)および接触時間(右)

重錘質量が 60kg の二つの組み合わせでは、接触時間が全ての跳躍板で目標の範囲内であったが、力の最大値が落下高 60cm の場合に目標から外れる跳躍板がみられた (図 4)。そのため、重錘質量 60kg 落下高 60cm の組み合わせは候補から除外した。候補として残った 50kg60cm, 50kg70cm, 60kg50cm の組み合わせの中で比較すると、重錘質量 60kg 落下高 50cm の組み合わせでは、力の最大値と接触時間ともに、いずれの跳躍板においても測定値が目標範囲の中央近くに分布していた。以上より、実際の踏切動作時と同程度の負荷を跳躍板に加えられるのは、重錘の質量 60cm かつ落下高 50cm の組み合わせであると判断した。

本研究で実際の踏み切り動作と同程度の負荷が加わる条件を見出す過程で得られた結果からは、跳躍板の規格に未だ不十分と考えられる点がみられることや改善の方向性も示唆された。体操競技の跳馬では、跳躍板の力学的特性がパフォーマンスに影響する。そのため、跳躍板の機種間における力学的特性の差を最小化することを目的として国際体操連盟が規格を定め、公認を受けた跳躍板が競技会および日常の練習で用いられている。しかしながら、競技会場と日常の練習とで使用される跳躍板の機種が異なっていた選手が、技の実施に影響するほどに“硬さ”や“弾みやすさ”などが異なることを訴えることも多い。先行研究において本研究と同機種の跳躍板に対して公認試験の条件 (質量 20 kg・落下高 80 cm) で重錘落下衝撃試験を行った場合には力の最大値に大きな機種間の差はみられなかったが、本研究においては跳躍板の機種間の差は最大でおよそ 440N であった (図 5)。これは、公認試験の条件下では特性差が小さくみえても、実際の選手の踏切動作の下では特性の差が大きくなっている可能性を示している。

跳躍板では弾性変形・復元の過程でエネルギーが損失する。このエネルギー損失率では跳躍板の機種間の差は最大でおよそ 8% であり (図 6)、踏切後の選手の運動に無視できない影響を与えると考えられる。

スティフネスにおいては跳躍板の機種間で非常に大きな差がみられた (図 7)。選手はフィーリングの違いとして硬さに差があると訴えることが多いが、それが事実であることを裏付ける結果だと言えよう。

国際体操連盟は規格の目的として特性の差を最小化することを掲げているが、現実にはパフォーマンスに大きな影響を与えかねない特性差が存在していると考えられる。これを改善するためには、まずは実際の踏切動作と同程度の力が加わる条件で重錘落下衝撃試験を行うように規格試験を改定する必要があると考えられる。また、規格では単に力の最大値に基準が設けられているだけであるが、加わる力が小さい規格の条件下では、力の最大値が衝突直後の第一ピークで出現しており、剛性がうまくコントロールできていない可能性がある。そのため、力の第一ピーク (緩衝性に影響) と最大変形時の力のピーク (剛性に影響) で別々に基

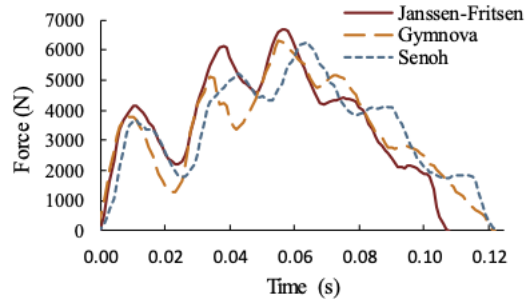


図5 跳躍板に加えられた力の経時変化

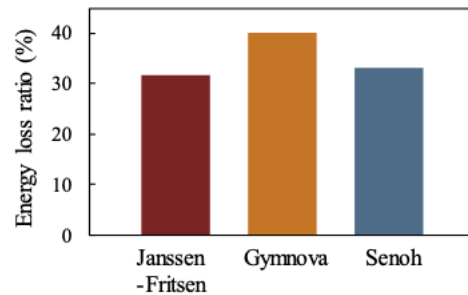


図6 跳躍板のエネルギー損失率

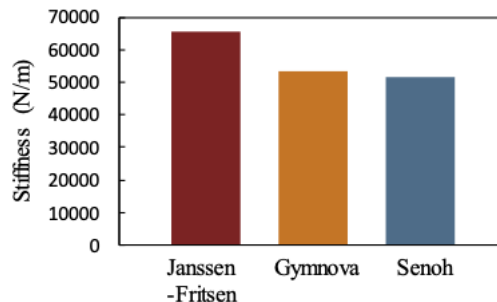


図7 跳躍板のスティフネス

準を定めることも必要だと考えられる。

実際の踏切動作と同程度の負荷を加えられるような重錘の質量と落下高の組み合わせを見出した後、跳躍板への落下位置を変えながら重錘落下衝撃試験を実施していった。その結果、力の最大値は中央部付近で小さく、前端および後端に向かうほど大きくなるという傾向が見られた。剛性も同様の傾向がみられ、後端に近い部分で特に大きくなっていった。一方、エネルギー損は前半部ではそれほど変わらない傾向であった。これらの結果は、跳躍板の前半部であればどこで踏み切っても力学的運動に大きな違いは生じないが、一方で、選手のフィーリング（硬い・柔らかい）には前端部と中央部で違いが生じることを示唆している。

他方、跳躍板後半部では、前半部とのエネルギー損に差が無い機種と、前半部よりもエネルギー損が大きくなる機種が存在していた。この結果は、後半部で踏み切るとパフォーマンスの低下に結びつく機種とそうでない機種とが混在していることを示唆していた。力の最大値および剛性が後端に向かうほど大きくなるという結果と併せると、後端部は選手にとっては硬くかつ跳ね返りにくいフィーリングとなる跳躍板と、硬いものの跳ね返りは得られるというフィーリングという跳躍板に分かれることになると考えられる。

これまで、現場の選手やコーチの間では、跳躍板には比較的狭くピンポイントな踏切に適した位置があるのではと考えられることも多かった。特に、先端近くが踏切に適した位置であると考えられることが多かった。一方で、跳躍板の中央付近で踏み切り、高いパフォーマンスを発揮する選手も存在している。この違いは、矛盾であるのか、それとも中央付近を踏み切る選手が先端付近を踏み切るようにすればより高いパフォーマンスを発揮できるのか、ということ是不明であった。本研究で得られた結果は、跳躍板の踏み切りに適した位置は先端部付近の狭くピンポイントなものではなく、先端付近から中央にかけての比較的広い範囲で、選手自身のパフォーマンスを問題なく発揮できることを示唆している。また、後端付近に関しては、これまで現場で考えられていたようにパフォーマンスを低下させることが懸念される跳躍板と、パフォーマンスを大きく低下させることはなく言わば跳躍板が“助けてくれる”ものに分かれることが示唆される。試合会場に設置される跳躍板は主催者によって選定され、選手自身が選択することは出来ず、どのメーカーのものになるかはその都度変わることを見れば、跳躍板の後半部分は踏切に適さないと言えるであろう。以上より、跳躍板の踏切に適した範囲はそれほど狭いものでなく、前半部分という比較的広い範囲であると考えられる。

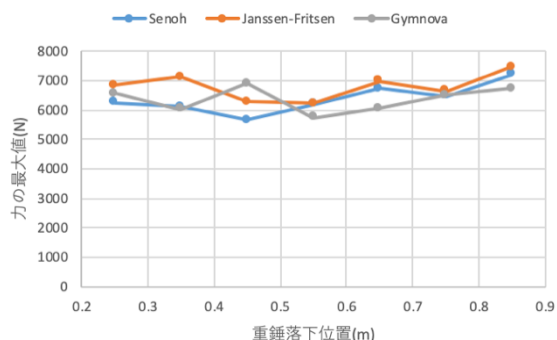


図 8 位置毎の力の最大値

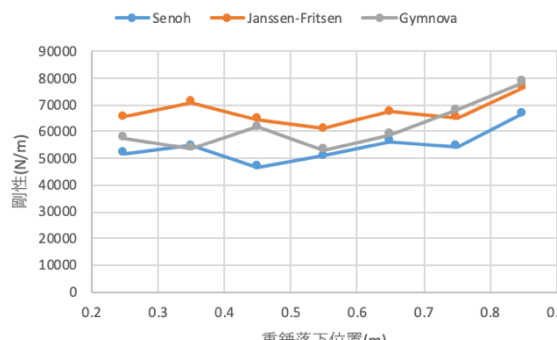


図 9 位置毎の剛性

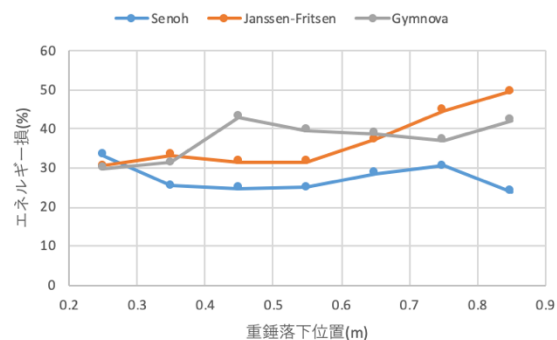


図 10 位置毎のエネルギー損

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 佐野真也（岐阜市立女子短期大学）、池上康男（名古屋大学名誉教授）
2. 発表標題 跳躍板の力学的特性の差は“最小化”されているか
3. 学会等名 第28回日本バイオメカニクス学会大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------