5ZE-09

筋張力シミュレーションによる ボルダリングホールド把持方法の解析

塚本 雄文 †　　井村 誠孝 ‡
関西学院大学 †　　関西学院大学 ‡

1　はじめに

ボルダリングとは壁面に取り付けられたホールドを把持し，登攀するスポーツである．2021 年に開催された東京オリンピックの競技としてスポーツクライミングが採用されたこともあり，初心者でも取り組みやすいボルダリングがより一層注目されている．

ボルダリングでは、登攀のルートとして，手をかけるホールドが決められているが，足をかけるホールドは登攀者が任意に選択して登攀する．ホールドの把持方法や足をかけるホールドによって姿勢が変化し，体への負荷が変わってくる．そのため，ホールドの把持方法や登攀者の姿勢は十分に検討する必要がある．しかし，現在の登攀指導は経験則に基づいており，バイオメカニクスに基づいた指導が望まれている．

本研究では，ホールドの最適な把持方法をバイオメカニクスに基づいて算出するための把持モデルを構築し，様々な条件を与えたシミュレーションを通じて解析を行う．ホールドの種類や登攀者の身体寸法および体重によって変化する物体把持に必要な筋張力を，機構解析ソフトウェア Adams（MSC Software）を用いて算出する．本稿では，ホールドを把持する際に必要となる最低筋張力をシミュレーションによって明らかにし，実験によってシミュレーションモデルの妥当性を検証したことを報告する．

2　Adams によるホールド把持シミュレーション

ホールドの種類や登攀者の身体寸法および体重によって変化する物体把持に必要な筋張力を，機構解析ソフトウェア Adams を用いて算出する．

Analysis of Grasping of Bouldering Hold Based on Muscle Tension Simulation
† Kazufumi Tsukamoto, Kwansei Gakuin University
‡ Masataka Imura, Kwansei Gakuin University

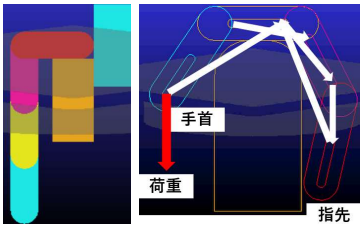

図 1　シミュレーションモデルと張力配置

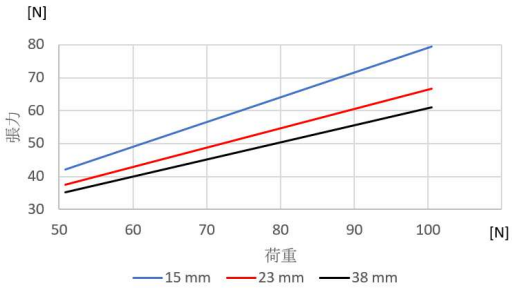

図 2　シミュレーション結果

2.1　モデル作成

筋張力の算出のために、ホールドと指 1 本のモデルを作成する．ホールドは実験での条件と揃えるため，オープンハンド持ちができる 3 種類（38, 23, 15 mm）の指の引っ掛かりを用意した．指はリンクセグメントモデルで 4 セグメントから構成される (図 1)．各セグメントには筋力の表現として張力を与えており，各セグメントの質量，長さ（20 mm）はすべて同じである [1]．指の静止摩擦係数は 0.7，動摩擦係数は 0.5 である [2]．

2.2　シミュレーション結果

指への荷重は成人の 5 パーセントタイルから 95 パーセントタイルを加える [3]．但し，本モデルは指 1 本であるため，親指を除いた両手の 8 本の指に均等に負荷がかかるとして，体重の 1/8 にあたる荷重を加えている．シミュレーション時間は 1 秒とし，シミュレーションは 500 ステップで計算をした．

Adams でのシミュレーション結果を示す（図 2）．シミュレーション結果からホールドが大き

Copyright ©2022 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

く，指の引っ掛かりが大きいものほど筋張力が小さいことが確認できる．また，指への荷重が大きいほど，より多くの筋張力が必要だとわかる．

3　実験によるホールド把持特性の調査

シミュレーションモデルの妥当性を検証するために，オープンハンド持ちでの筋電計測を行う．

3.1　実験環境

本実験では，筋電計での浅指屈筋計測と床反力プレートでの荷重計測を同時に行う（図 3）．実験協力者は健常若年者 4 名である．

ぶら下がり健康器（MK301, WASAI）に木材を取り付け，木材にハングボード（ME14014, Metolius）を取り付けてオープンハンド持ちでの浅指屈筋の筋発揮力を計測する．ハングボードにはシミュレーションモデルと同等の深さが異なる 3 種類の持ち手がある．

筋電計測には筋電計アンプ（TS-EMG01，ATR-Promotions），多機能センサ（TSND121，ATR-Promotions），電極（レクトロード，積水化成品工業）と PC を使用する．計測はアプリケーション Sensor Controller を使用し，サンプリング間隔 2 ms で計測する．

実験協力者の体重計測にはバランス Wii ボード（Nintendo）を使用し，Bluetooth 通信により PC にデータを取り込む．データ取得のプログラムは Visual Studio 2019 を使用し言語は C++ で作成した．サンプリング間隔は 50 ms である．

3.2　実験手順

実験協力者には実験内容の説明をして同意を得たうえ，事前練習をしてから計測を行う．実験手順を以下に示す．

1. 実験協力者に自身の体重が表示されている画面を見せる．
2. 肘を伸ばした状態を維持する．
3. 親指以外の手指は 4 本揃える．
4. 膝を曲げて体重（負荷）を調整する．
5. 自身の体重 M-5N を 3 秒間維持する（N:試行回数）．
6. 自身が耐えられる最大負荷まで負荷を増大させて手順 4，5 を続ける．
7. 1 試行ごとに 3 分間休憩する．
8. 3 か所の持ち手を順に実験する．

図 3　実験環境

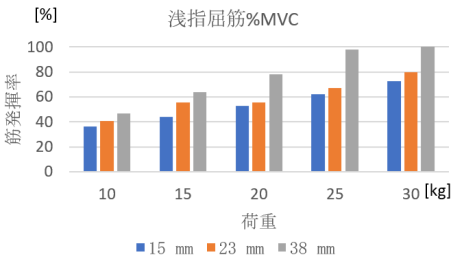

図 4　実験結果

3.3　実験結果

AD 変換により取得したサンプル値を筋電位に変換する処理をした後，25 サンプルの二乗平均平方根（RMS）を 50 ms 毎に算出する．床反力プレートで取得したデータは 500 ms 毎の平均体重を算出し，実験手順 5 で示した負荷を維持している各時刻を取得する．RMS 処理した筋電計の同時刻のデータ 500 ms 分を取得して平均値を算出する．

実験時に最大発揮した筋活動を 100% とし，実験協力者ごとに各負荷に対する筋発揮率を求め，平均したものを示す（図 4）．実験結果から指の引っ掛かりが大きいものほど筋発揮率が小さいことが確認できる．また，実験協力者の負荷が大きいほど筋発揮率が大きくなることが確認できる．

4　おわりに

本稿では筋張力シミュレーションによりボルダリングホールドの把持方法を解析し，実験によりシミュレーションモデルの妥当性を検証した．Adams によるシミュレーション結果と実験結果から，指の引っ掛かりが大きいほど筋発揮は小さくて良いことが示唆された．また実験結果より，Adams でのモデル化の妥当性が確認できた．今後はホールドの最適な把持方法が達成できる荷重のかけ方をシミュレーションにより算出する．

参考文献

[1] 岩田一明，小野里雅彦，他：指の柔らかさと関節の回転抵抗を考慮した手指の 3 次元モデルとそのシミュレーション，精密工学会誌 57 巻 8 号，pp.91-97，1991.

[2] 嶋脇聡，酒井直隆：ヒト指尖部の摩擦特性に関する研究，日本機械学会論文集 C 編 74 巻 739 号，pp.166-172，2008.

[3] 人間生活工学センター：人間特性計測に関する基盤研究，新エネルギー・産業技術総合開発機構研究受託成果報告書，1998.

Copyright ©2022 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.