

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	粘着樹脂と爪を用いた壁面取り付けロボットの開発—柔らかい素材と硬い素材を組み合わせた爪パーツの試作・評価—
Title(English)	Wall-mounted robot using adhesive resin and claws -Claw parts made of soft and hard materials-
著者(和文)	呉嘉博, 石橋啓太郎, 菅原雄介, 石井裕之
Authors(English)	Yoshihiro Go, Keitaro Ishibashi, Yusuke Sugahara, Hiroyuki Ishii
出典(和文)	日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2022予稿集, , , 2P1-M04
Citation(English)	, , , 2P1-M04
発行日 / Pub. date	2022, 6

粘着樹脂と爪を用いた壁面取り付けロボットの開発 —柔らかい素材と硬い素材を組み合わせた爪パーツの試作・評価—

Wall-mounted robot using adhesive resin and claws -Claw parts made of soft and hard materials-

○学 呉嘉博（早稲田大） 石橋啓太郎（早稲田大）
正 菅原雄介（東工大） 正 石井裕之（早稲田大）

Yoshihiro GO, Waseda University, yoshihiro_go@toki.waseda.jp
Keitaro ISHIBASHI, Waseda University
Yusuke SUGAHARA, Tokyo Institute of Technology
Hiroyuki ISHII, Waseda University

Throwing is an effective means of delivering robots to locations that are difficult for humans to approach directly. For more efficient monitoring, it is sometimes desirable for a thrown robot to remain attached to a wall without bouncing back when it collides with it. The goal of this research is to develop a robot that can attach to rock and concrete walls using adhesive resin and metal claws. In this paper, the claw parts made of soft and hard materials based on the design principle of Asbeck[5] were repeatedly attached to rocks, and the adhesive force was measured and evaluated. As a result, the 6 claws were able to generate more than 1.5[N] of adhesive force with 88% probability.

Key Words: Claw, Wall, Adhesion

1. 緒言

投擲は人が直接接近するのが困難な場所へロボットを送り込むのに有効な手法の一つである。鈴木剛[1]らは被災地の早期の被害への対応のため、災害後、地下鉄駅構内や地下街などの地下空間で障害物等により進入不可能な隔離空間へ無線センサネットワーク端末を投擲によって送り届け、被災状況を人的被害のリスクをなくした上で同時並行的に定点観測する手法の検討を行った。しかし、送り込まれたロボットがより効率的なモニタリングをするために、投擲されたロボットが壁面と衝突した際に跳ね返らずにそのまま壁面に取り付くことが望ましい場合がある。一方、既存の研究では、壁面移動ロボットなどについて多くの研究がされているが[2-4]、投擲を想定した壁への取り付けロボットの研究はまだまだされていない。そこで我々は、岩石やコンクリートの様な凹凸壁面を対象として想定した、重量が300g以下の、壁面取り付けロボットの開発を目指す。このロボットには、まず粘着樹脂によって一時的に壁面に取り付き、粘着樹脂が壁面から剥離するまでの間に金属の爪を壁面の微小な凹凸にひっかけることで壁面に取り付く機能を持たせることを想定している。

Asbeckら[5]はShape Deposition Manufacturing (SDM)を用いて柔らかい素材と硬い素材を組み合わせた爪パーツを製作し、壁面取り付けを実現している。現在では3Dプリンタを用いてより容易に柔らかい素材と硬い素材を組み合わせたパーツを製作できるようになった。そこで我々は、Asbeckらの設計原理をもとに粘着樹脂との組み合わせに適した形状の爪を設計し、3Dプリンタによって柔らかい素材と硬い素材を組み合わせた爪パーツを製作した。本稿では、まずその爪パーツについて紹介し、続いてその爪パーツの保持力を測定した評価実験について述べる。

2. 爪パーツの試作

2.1 爪パーツの設計理論

爪を壁面にひっかけることによって得られる保持力は壁面凹凸の強度に依存し、1つの爪で得られる保持力には限界がある。したがって爪の本数を増やすことは保持力を向上させる有効な手段である。また、機体の重量が重いと必要な保持

力が増加し、壁への取り付けで不利になる可能性が高い。機体の軽量化のためには、アクチュエータ類はなるべく少ない方が望ましい。そのためには複数の爪を1つの部材に固定し、その部材を駆動するのが1つの手法である。しかし、複数の爪を同一部材に固定させると、凹凸を捉えた爪が他の凹凸を捉えていない爪と同様に、壁面に対して平行方向に移動することができず、互いに干渉してしまう確率が高くなり、壁を把持できる確率が低くなる。そこで、より高い確率でロボットが壁に取り付けよう、各爪の動作を独立性を与えることとした。これは各爪にばねダンパ系要素を追加し、壁の平行方向への伸縮性を与えることによって実現可能である。このようにすることで、図1のように、ある爪が壁面の凹凸を捉えても、他の爪は自身の先端がいずれかの凹凸に接触するまで壁面の平行方向に移動し続けることが可能となり、爪同士の干渉が減ると期待される。

2.2 爪パーツの製作

上記の理論にもとづいて試作した爪パーツを図2に示す。

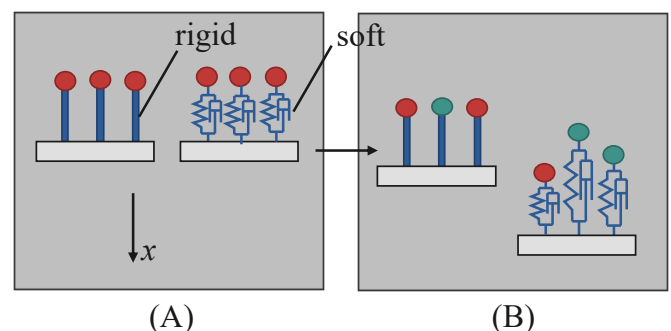


Fig. 1 Comparison of claws without independence and claws with independence while moving them in the x direction. Red dots represent a spine which is not catching asperities ; green dots represent a spine which is catching asperities. A: Initial state, B: Finished state

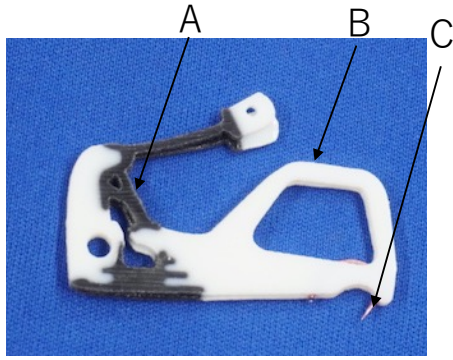


Fig. 2 Photograph of a claw.

A. Agilus30(Rubberlike material, Elongation at Break: 220-270%),
B. Vero PureWhite(Rigid material, Elongation at Break: 10-25%),
C. 20µm tip diameter fishing hook.

爪パーツはゴムライク素材である Agilus30(Stratasys Ltd.), 硬質フォトポリマーVero PureWhite(Stratasys Ltd.)と先端直径がおよそ 20µm の釣り針(速攻チヌ 1 号, 株式会社オーナーバリー)から構成される。

3. 評価実験

爪を壁面にひっかける際に得られる保持力を測定するために溶岩石板に対するひっかけ実験を行った。

3.1 実験方法

石板に定格容量±50N, 分解能 1/4000 の力覚センサを取り付けた。重力加速度方向は-z 方向である。爪の根元部分の穴を動作部に固定し, 図 3 に示す軌道で動作させた。図 4 の結果が得られた。①では爪の針部分の先端が石板に触れたところから 2mm ねじを-z 移動させた。②ではねじを x 方向に 6mm 移動させたのち 4 秒静止させた。壁面から引き上げるとき(図 3, 4 の③にあたる)に得られた Fz の最大値を $F_{z_{max}}$ として取得した。

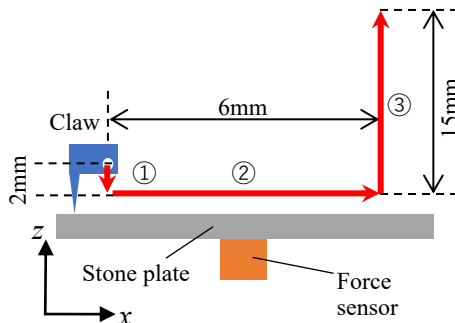


Fig. 3 Scratching Trajectory

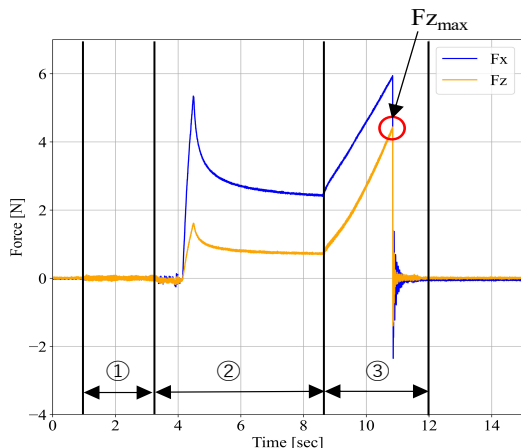


Fig. 4 Forces for 1 claw on Lava stone

②の速度を変化させた速度変化実験の結果を 3.1 で, 爪の本数を変化させた実験の結果を 3.2 で述べる。

3.2 速度変化実験の結果

1 つの爪を, それぞれ 2.36mm/s, 4.35mm/s, 6.39mm/s, 8.43mm/s で 6mm 壁面にひっつけたときの $F_{z_{max}}$ を取得した。その結果を図 5 に示す。8.43mm/s でひっつけた場合の $F_{z_{max}}$ の平均値が最も大きかった。

3.3 爪の数変化実験の結果

爪を間隔 2mm でねじに増設し, 爪の数を 1, 2, 4, 6 本と増やした。8.43mm/s で 6mm 壁面にひっつけたときの $F_{z_{max}}$ を取得した。その結果を図 6 に示す。

4. 考察

速度変化実験において, 各速度の $F_{z_{max}}$ の平均値を比較すると, 8.43mm/s でひっつけた場合が最も大きかった。

8.43mm/s でひっつけた場合の $F_{z_{max}}$ 分布と 2 番目に平均値が大きかった 4.35mm/s の場合での $F_{z_{max}}$ 分布を比較する。それぞれを図 7, 図 8 に示す。

力覚センサは無負荷時で±0.1N のブレがあったため, $F_{z_{max}}$ が 0.1N 未満の場合, 爪が壁面の凹凸を捉えていないと考えた。0N < $F_{z_{max}} \leq 0.1N$ となる確率密度は 4.35mm/s の場合で 3.96 であるのに対し, 8.43mm/s の場合は 4.71 となった。爪の移動速度を速くした場合, 強度の低い凹凸を破壊してしまう可能性が高くなり, 壁面の凹凸を捉える可能性が低くなったと考

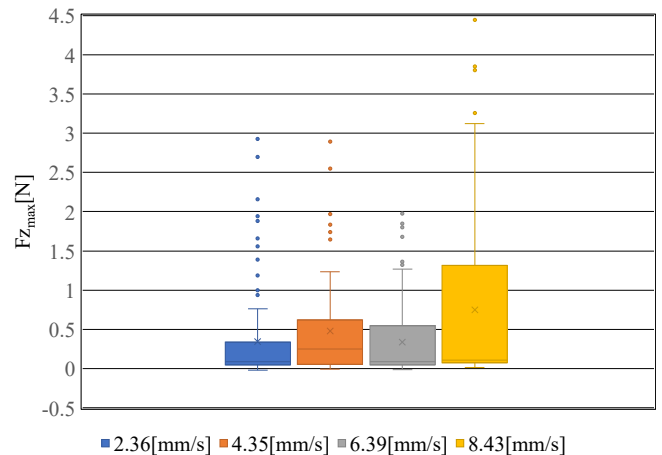


Fig. 5 Results of scratching experiment

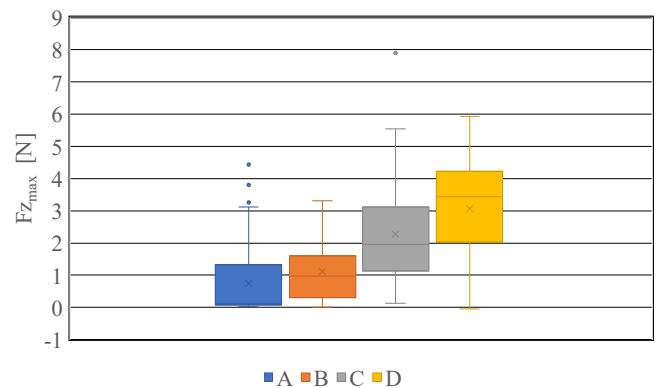


Fig. 6 Results of scratching experiment.
A: 1 claw, B: 2 claws, C: 4 claws, D: 6 claws

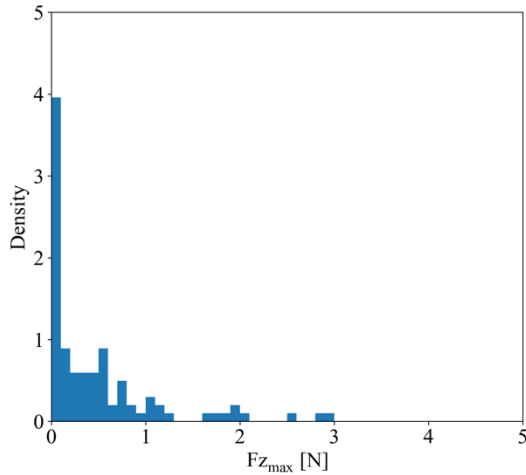


Fig. 7 Distribution of $F_{z_{\max}}$ for a spine scratch the wall at 8.43mm/s

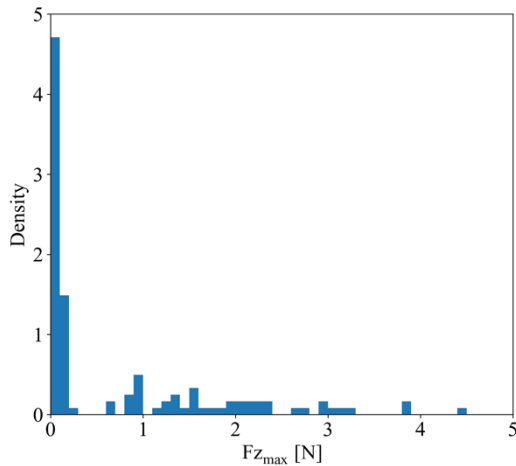


Fig. 8 Distribution of $F_{z_{\max}}$ for a spine scratch the wall at 8.43mm/s

える。しかし、8.43mm/s の場合の $F_{z_{\max}}$ の平均は 0.75N であり、4.35mm/s の 1.6 倍であった。爪の移動速度を速くすると、弱い凹凸を破壊し、ひっかけ軌跡上の弱い凹凸にひっかかる可能性を排除し、最終的に強度の高い凹凸を捉える可能性が高くなったためであることと、速度が速くなったことで爪の先端が壁面に食い込んだことによるものであると推察する。

爪の数変化実験では、爪の数を増やすにつれて $F_{z_{\max}}$ の平均値、中央値が大きくなった。サンプル数が少なく、正規性が確認できなかったため、ノンパラメトリック検定の 1 つである Kruskal-Wallis 検定を用いた。有意水準 5% で検定を行った結果、有意差があり ($p < 0.05$)、爪の本数が保持力の大きさに影響を及ぼしている可能性があると考えられる。また、ボンフェローニの補正をかけて、各群間において有意水準 5% でマン・ホイットニーの U 検定を行った結果、全ての組み合わせで有意差があった ($p < 0.05$)。したがって、爪の本数を増やすと保持力が増えることを確認できた。

爪の本数を増やしたときに得られる保持力を推測するために、3 章で述べた速度変化実験における 8.43mm/s でひっかけた場合の結果から 1 つの結果を無作為に n 回 ($n=2-6$) 抽出し、設定した回数繰り返し、抽出された n 個の値を足し合わせることで爪の本数が n 本の場合の $F_{z_{\max}}$ を計算した。これを 10^7 回繰り返し、 $F_{z_{\max}} \geq 1.5N$ の確率と $F_{z_{\max}} \geq 3N$ の確率を算出し、実験値と比較した。結果を図 9 に示す。

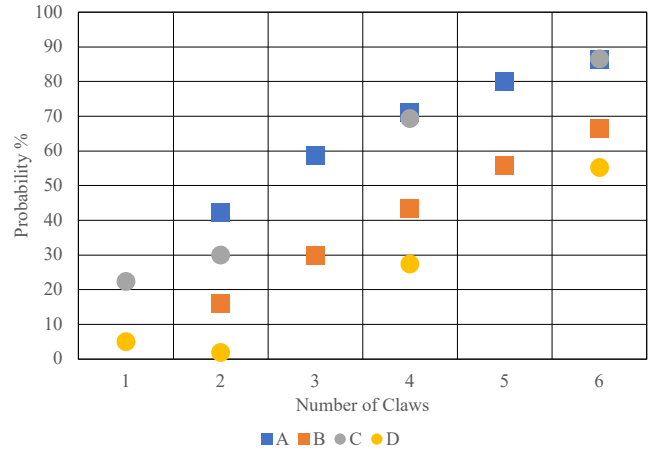


Fig. 9 Plot of simulated probability of $F_{z_{\max}} \geq 1.5N$, $F_{z_{\max}} \geq 3N$ (A, B) and experimented probability of $F_{z_{\max}} \geq 1.5N$, $F_{z_{\max}} \geq 3N$ (C, D)

爪が 2 本の場合、 $F_{z_{\max}} \geq 1.5N$ の確率が計算値では 42% であるのに対して実験値は 30% となり、 $F_{z_{\max}} \geq 3N$ の確率が計算値では 16% であるのに対して実験値では 2% となった。爪が 4 本と 6 本の場合では、 $F_{z_{\max}} \geq 1.5N$ の実験値はそれぞれ 69% と 87% (相対誤差 2%, 0%) となった。 $F_{z_{\max}} \geq 3N$ の実験値はそれぞれ 27% と 55% (相対誤差 37%, 17%) となった。爪の本数を増やすにつれて実験値と計算値の相対誤差が減った。これは爪の本数を増やすことによってより安定的に保持力を生み出せる可能性を示唆している。

5. 結言

柔らかい素材と硬い素材を組み合わせ、伸縮性を持った爪パーツを試作し、評価した。6 つの爪で 87% の確率で 1.5N 以上の保持力を生み出せ、55% の確率で 3N 以上の保持力を生み出せることを確認した。これは計算値とおおむね一致した。

今後はサンプル数を増やし、その結果をもとに爪の設計の再検討を行う。また、爪を駆動するアクチュエータの選定を行う。壁面取り付けロボットを開発し、保持力の評価を行う。

謝 辞

本研究は、競輪の補助ならびに早稲田大学特定課題研究助成費 (2020C-246) の助成を得て実施された。

参考文献

- [1] 河野 仁, 澤井 圭, 鈴木 剛, "1A2-C10 移動ロボットによる無線情報収集端末投射配置を実現する投射機構の開発と実装", ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2010 巻, 論文 ID:1A2-C10, 2010.
- [2] Jiang, Quansheng, Xu, Fengyu. Grasping Claws of Bionic Climbing Robot for Rough Wall Surface: Modeling and Analysis. Applied sciences, vol. 8, no. 1, p. 14, 2017.
- [3] Parness, Abcouwer. "LEMUR 3: A limbed climbing robot for extreme terrain mobility in space," 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), p. 5467, 2017.
- [4] De Rivaz, Sébastien D., Goldberg, Benjamin, Doshi, Neel, Jayaram, Kaushik, Zhou, Jack, Wood, Robert J. "Inverted and vertical climbing of a quadrupedal microrobot using electroadhesion," Science robotics, vol. 3, no. 25, 2010.
- [5] Asbeck, Alan T., Cutkosky, Mark R. "Designing Compliant Spine Mechanisms for Climbing," Journal of mechanisms and robotics, vol. 4, no. 3, 2012.