助成番号 2023-1

墜落制止器具をパワーアシストロボット化するためのベルト部分後付け型人工筋の開発

香川高等専門学校　機械電子工学科 助教 門脇 惇

1　はじめに

建築構造物・インフラストラクチャーの補修・修繕工事は，多様な天候や自然災害の発生する日本においては必要不可欠な仕事である．現存する土木構築物や建築物に目を向けた場合，日本は今後 10 年で多くの土木構築物・建築物が老朽化し，補修・修繕工事が必要になることが予想される[1]．日本では少子高齢化が進行しており，高齢労働者の割合が増加する近い将来において安定した労働力の確保は容易ではないと考えられる．高齢労働者は長期の作業経験によって高い技術力や作業効率が期待できるが，身体能力の低下によって怪我や事故の増加・重症化が懸念される．

怪我や事故低減を目的とした作業負担軽減の手法の一つに，ロボット技術を用いた作業補助がある．特に，装着型のパワーアシストロボットは作業者が進入可能な範囲において支援を行うことができ，周囲の環境に合わせたロボットの自立移動などを必要としないため様々な環境で用いることが出来る．しかしながら、パワーアシストロボットを建設作業に導入することは建設作業者の服装や装備の観点から容易ではない．建設作業において，作業者は生地の厚い服装や安全ヘルメット，墜落制止器具をはじめとするハーネス型装着器具等を装着する必要がある．装着型パワーアシストロボットはこれらの装備と競合するため，装着可能な箇所の制限や同時装着による拘束感の増加が生じる可能性が高い．

そこで本研究では，建設作業に用いられる既存の装備の中で墜落制止器具をはじめとするハーネス型装着器具に着目し，これらの装着器具のベルト部に取り付けることで，ベルトを介して作業者への力伝達が可能なパワーアシストロボット化を実現する空気圧ゴム人工筋の開発を行った．

なお，本研究は、一般社団法人四国クリエイト協会の 「2023 年度建設事業に関する技術開発支援制度」による助成を受けて実施したものである．

2　ゴムチューブ-繊維スリーブ間の摩擦をベルト把持に用いたベルト部分後付け型人工筋

本研究で提案する人工筋の構造を図 1 に示す．人工筋は直方筒形状のゴムチューブと繊維スリーブを主として構成される．ゴムチューブ-繊維スリーブ間には隙間があり，人工筋端部から隙間内にベルトを通すことが可能となっている．提案する人工筋の動作原理と隙間でベルトを把持する原理について図 2 に示す．定常状態において，隙間を通るベルトは自由に動くことが可能となっている．圧縮空気の供給によってゴムチューブが変形すると，隙間を通っているベルトが押し付けられ，摩擦によって固定される．この状態から，さらにゴムチューブが変形することで人工筋が収縮・膨張する．ベルトは人工筋の膨張に沿って変形する．ゴムチューブとスリーブによりベルトが固定されているため，人工筋の収縮力をベルトを介して装着器具に伝達できる．人工筋の一面にベルトが通ることで人工筋変形部の材質が不均一となり，人工筋収縮時の変形が偏ることが想定される．そこでベルトを通す面の対面にもベルトを通す隙間を配置し，変形の偏りを整えるためのカウンターベルトが取り付けられている．

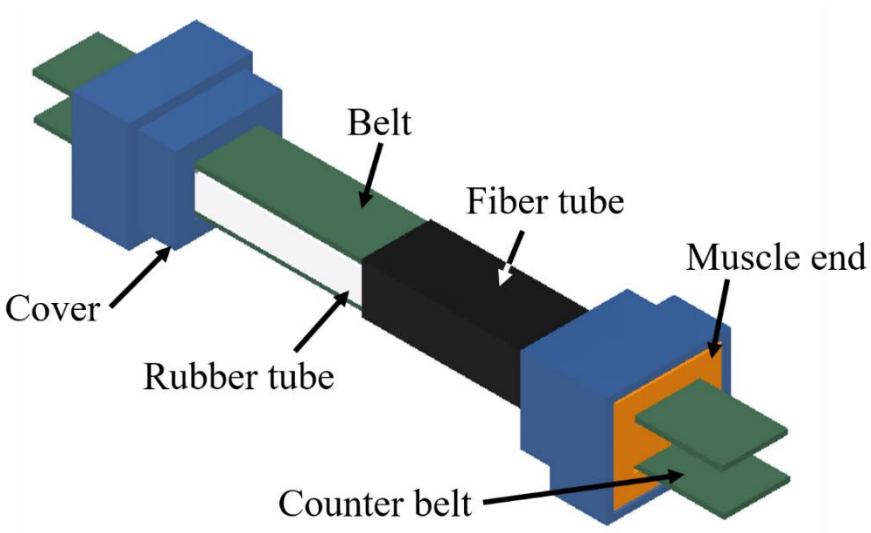

図 1　ベルト部分後付け型空気圧ゴム人工筋（ゴムチューブ–スリーブ間把持型）の構造

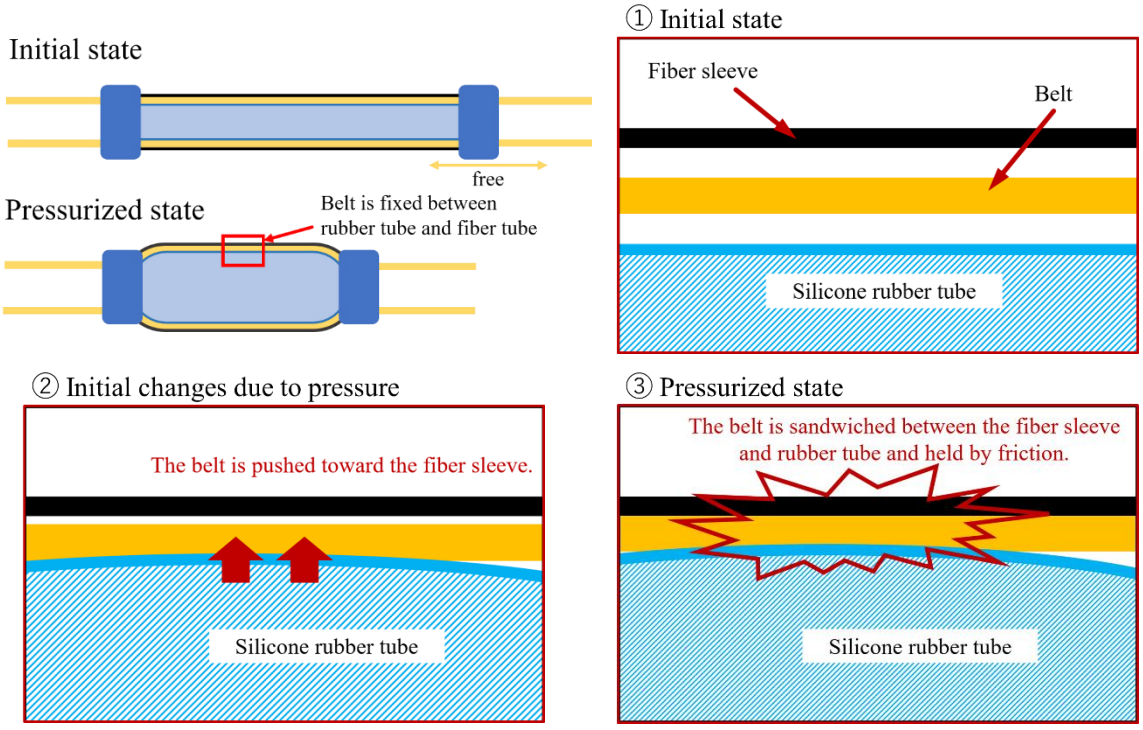

図 2　ベルト部分後付け型空気圧ゴム人工筋（ゴムチューブ–スリーブ間把持型）の動作原理

3　人工筋（ゴムチューブ–スリーブ間把持型）の収縮力特性の計測

提案構造に基づいて人工筋の試作を行った．試作した人工筋を図 3 に示す．ゴムチューブの材質には Ecoflex シリコーンゴム（Ecoflex00-30）を使用し，人工筋の駆動長は 200 [mm]とした．

試作した人工筋を用いて収縮力特性の計測実験を行った．実験環境を図 4 に示す．実験ではまず，人工筋にベルトを通して，人工筋が自然長の状態となるようにベルトの両端を直動スタンドと力センサに固定した．この状態から人工筋に圧縮空気を供給した．直動スタンドを操作して，ベルトから伝達される収縮力が 0 [N]となるまで収縮させた．その後，再び直動スタンドを操作して収縮前の状態へ復元した．この操作を 2 回行い，2 往復の伸縮動作におけるベルトの引張力の変化を力センサによって計測した．実験では 20～100 [kPa]の圧縮空気を 20 [kPa]ごとに変化させ

て供給し，各供給圧力について 5 回の実験を行った．実験に用いるベルトはナイロン製とした．

実験によって計測された人工筋収縮力とベルト両端間の収縮量の関係について，各供給圧力における比較を図 5 に示す．図より各供給圧力において人工筋が動作し，ベルトを介した収縮力の伝達が行えていることが確認できる．伝達可能な収縮力は 100 [kPa]の圧縮空気を供給した場合において約 380 [N]であり，210 [N]を基準とすると固定されたベルトの両端間距離を約 5 [mm]伸縮させる範囲において十分なパワーアシストが可能であると考えられる．また，比較から供給される圧縮空気の圧力増加に伴って，人工筋収縮力と収縮量が増加していることが分かる．各供給圧力において，人工筋の収縮力特性は一様の変化を示した．提案する人工筋は，目標支援力に向けて供給圧力を変化させた場合でも連続的な力変化によるパワーアシストを行うことが可能であると考えられる．圧縮空気の供給によって収縮力が発生した際に，収縮操作が行われる以前の時点で収縮力がわずかに減少していることが図から確認できる．これはベルトと把持機構の間に生じた滑りが原因であり，滑りの解消によって収縮力の増加やアシスト可能範囲の向上が期待できる．

4　ハーネス型器具への人工筋の試験的装着

試作した人工筋をハーネス型墜落制止器具に取り付け，人体への装着性の確認を行った．定常状態の人工筋を取り付けたハーネス型墜落制止器具（株式会社谷沢製作所製）と装着者の直立姿勢を図 6 に示す．また，装着状態から人工筋に圧縮空気（80 [kPa]）を供給したときの器具と装着者を図 7 に示す．図より，人工筋の取り付けによる姿勢の制限や器具の極端な変形が無いことが確認できる．一方で，今回の装着では人工筋は片側 1 本のみであったものの，人工筋収縮力の伝達による装具のずれは軽微であった．これは装具の緩みによって器具の変形が吸収されたほかに，人工筋が背中の曲がりに沿った状態で収縮したことで力伝達が低減されたことが考えられる．今後は装着者－装具間に人工筋を取り付けることで人工筋の収縮力のほかに，膨張によるバルーンアクチュエータ的アシスト要素についても検討を行い，パワーアシスト性能の向上を図る．

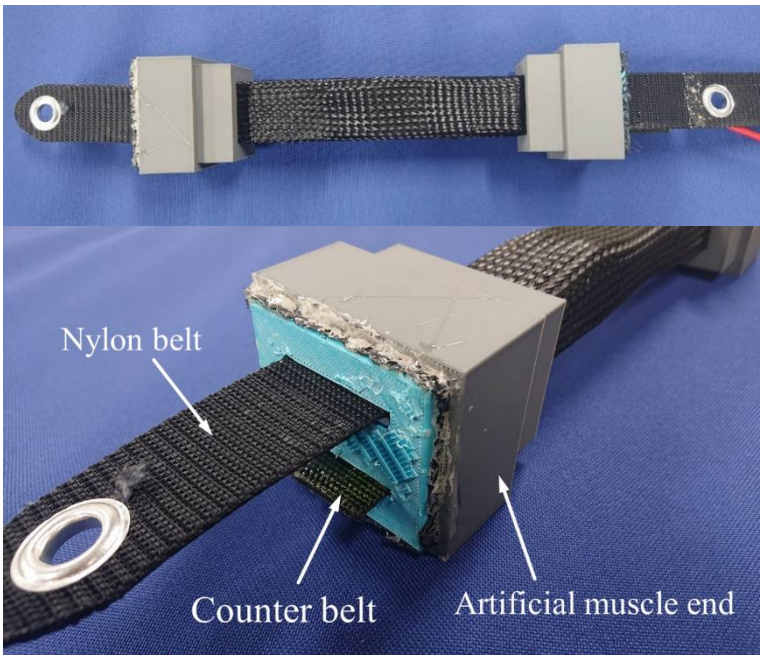

図 3　試作した空気圧ゴム人工筋

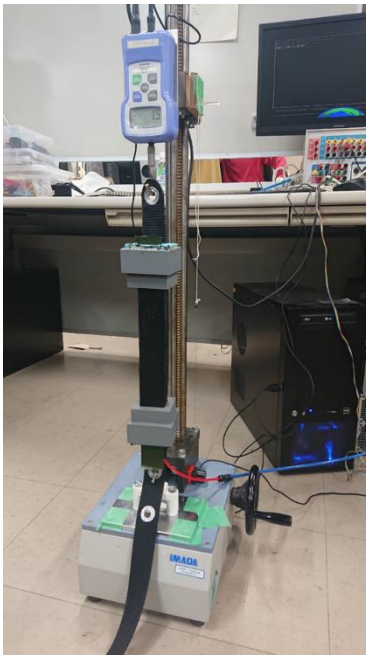

図 4　実験環境

5　おわりに

本研究では，墜落制止器具をパワーアシストロボット化するためのベルト部分後付け型人工筋の開発を目的として，人工筋の機構と動作原理を提案した．提案した人工筋について試作を行い，パワーアシストに必要となるベルトを介した収縮力伝達性能について実験から検証を行った．試作した人工筋を用いた検証実験から，パワーアシストの実現が期待できる収縮力特性を計測できた．提案した人工筋はベルトを介した収縮力の伝達を実現したが，人工筋自然長近傍において滑りを原因とする収縮力の減少が確認されている．McKibben 型空気圧ゴム人工筋に基づく構造は，収縮量の上昇に伴って収縮力が減少する収縮力の変位依存性を有しており，収縮の発生していない自然長近傍で滑りが生じることは伝達可能な収縮力とアシスト範囲の減少につながる．今後は人工筋のゴムチューブ形状を考慮してベルト把持機構のさらなる性能向上に取り組む必要がある．また，試作した人工筋をハーネス型墜落制止器具に取り付け，人体に器具を装着した際の装着性について確認を行った．人工筋を器具に取り付けたことによる器具の著しい変形や装着者の姿勢の制限などが発生していないことを確認できた．

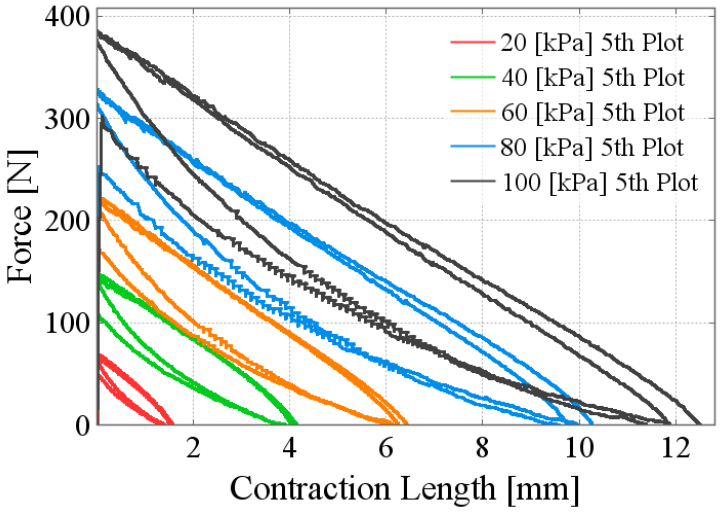

図 5　各供給圧力における収縮力特性の比較

図 6　装着状態での直立姿勢

A 定常状態　　B 加圧状態

図 7　装着状態での中腰姿勢

参考文献

[1] 国土交通省，建設産業の現状と課題，国土交通省，2016.