

把持物体を置くときの衝撃特性

Characteristics of Impact Force in Placing Motion

○古賀伸二*, 中沢信明*, 猪岡光*, 池浦良淳†

○Shinji Koga*, Nobuaki Nakazawa*, Hikaru Inooka*, Ryojun Ikeura†

*東北大学大学院情報科学研究科,

†三重大学工学部機械工学科

*Graduate School of Information Sciences, Tohoku University.

†Department of Mechanical Engineering, Mie University.

キーワード : 衝撃吸収 (shock absorption), 置く動作 (placing motion),

指先 (fingertips), MP 関節 (MP joint), 手首 (wrist)

連絡先 : 〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 01 東北大学 工学部 機械航空工学科 猪岡研究室
古賀伸二, Tel.: (022)217-7021, Fax.: (022)217-7019, E-mail: koga@control.is.tohoku.ac.jp

1. 緒言

ロボットによる把持物体の接触動作においては, 衝撃力緩和と作業効率を考慮した最適な接近速度計画が必要とされる 1) 2)。しかし, 人間が把持した物体を床などに置くときには厳密な速度計画を行なうことはなく 3), 接触直前の速度がある程度大きい場合であっても, 指先や手の柔らかさなどによって衝撃力を緩和する 4) と考えられる。

本研究では, 把持物体を置く動作の衝撃特性について実験的考察を行なう。人間が物体を床面へ置くときの衝撃力を力センサで測定し, 力波形から求められるピーク値や力積量から, その衝撃特性について解析する。ここでは指先のせん断方向の弾性要素, MP 関節 (指のつけ根の関節), および手首の衝撃吸収特性について報告する。

2. 実験装置

把持物体および測定装置のシステム構成を Fig. 1, 2 に示す。接触の際に物体が傾かないようにするため, 物体に取り付けたリニアベアリングにリニアシャフトを通し把持物体を固定する。把持物体と床面との間に発生する衝撃力はロードセルによって測定し, 接触時には一点支持となる。被験者は, 物体を中指と親指により把持し, Fig. 3 に示すように把持力 F_1 , F_2 , および物体と指先との摩擦力 f_1 , f_2 を測定する。床との相対距離はレーザ式変位センサにより測定する。

3. 実験方法

被験者は, 高さ 40mm の位置で物体を把持し, 合図とともに置く動作を行なう。衝撃吸収特性について調べるため, 把持物体の重さを 3 種類 (120g, 200g, 270g) 用意し, 以下の条件のもとで測定を行なう。

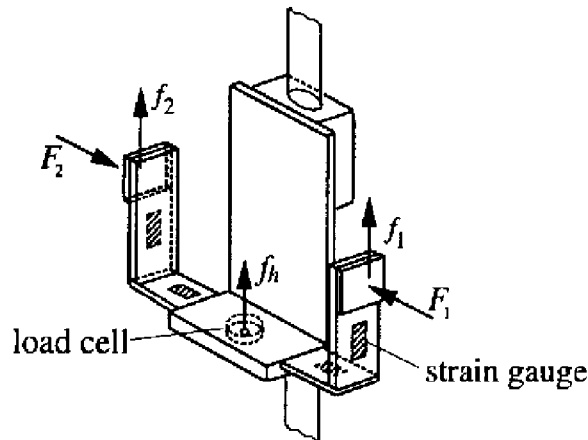


Fig. 1 把持物体

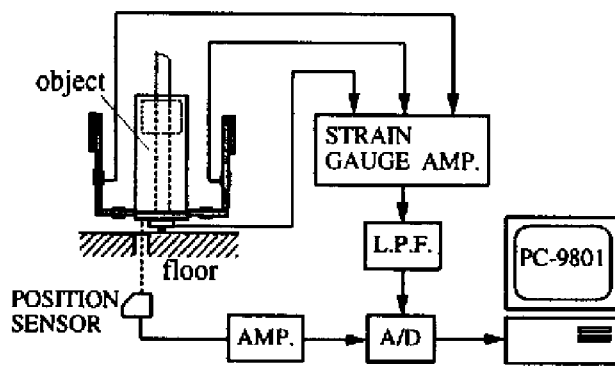


Fig. 2 測定装置のシステム構成

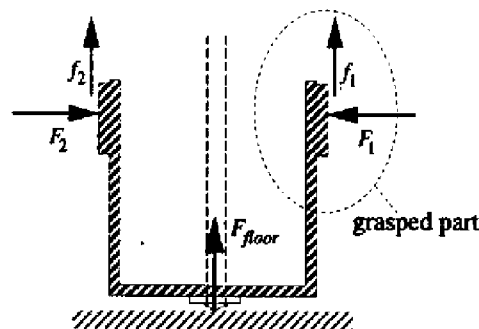


Fig. 3 把持物体に作用する力の測定

実験 1 無拘束状態の場合

実験 2 指先の弾性要素を拘束した場合 (Fig. 4 - exp.2)

実験 3 MP 関節を拘束した場合 (Fig. 4 - exp.3)

実験 4 手首を拘束した場合 (Fig. 4 - exp.4)

被験者は、実験前に数回練習を行い、動作に慣れてもらう。実験2~4では、指および手の各部分を拘束し、実験1との比較を行なう。

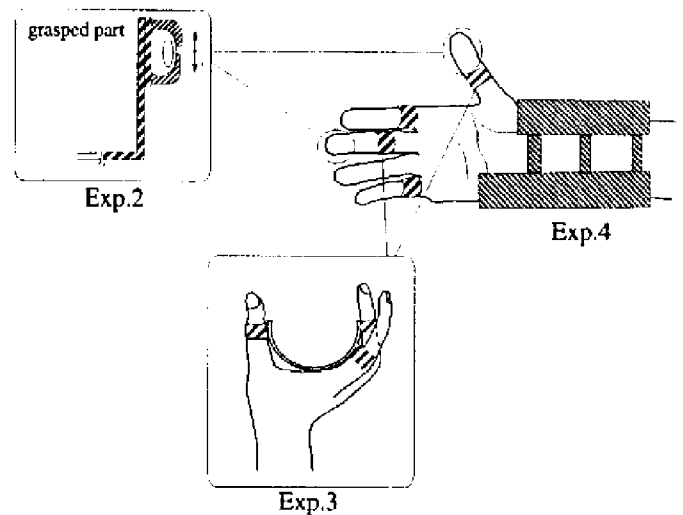


Fig. 4 指先およびMP関節, 手首の拘束

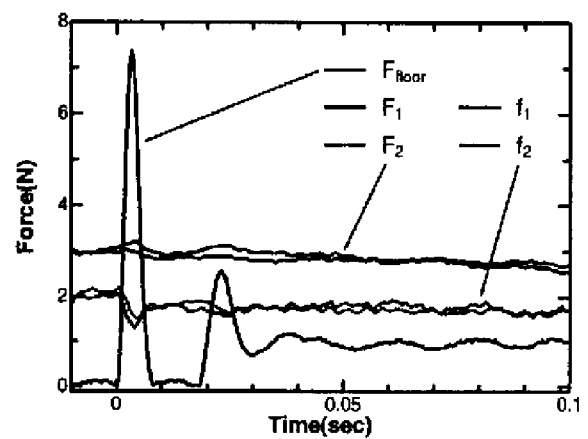


Fig. 5 把持物体の衝突時の力波形

4. 実験結果および考察

把持物体の衝突時の力波形を Fig. 5 に示す。図によると F_1 , f_1 (中指) と F_2 , f_2 (親指) の波形にあまり差がみられなかったので F_1 , f_1 についてのみ解析を行なう。実験1, 2における典型的な衝突波形を Fig. 6 に示す。ただし、接触速度はそれぞれ 177.0, 177.9(mm/sec) である。図によるとピーク値はほぼ同じ値であるがピーク以降の時間波形で明らかに違いがみられる。

まず Fig. 7 に示される衝撃力の第1ピーク値 u_{max} について調べる。実験1および実験2における接触速度と床からの衝撃力のピーク値との関係を Fig. 8 に示す。ただし、図中の結果は把持物体が 200g の場合である。図より、接触速度に比例して衝撃力のピーク値が増加している。また、床から受ける衝撃力のピーク値は、指先の弾性要素の

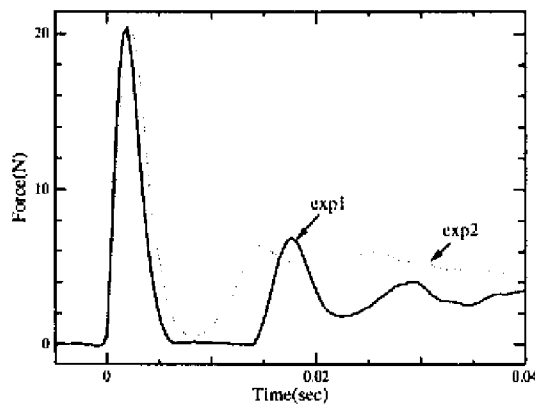


Fig. 6 実験1と実験2の衝突波形

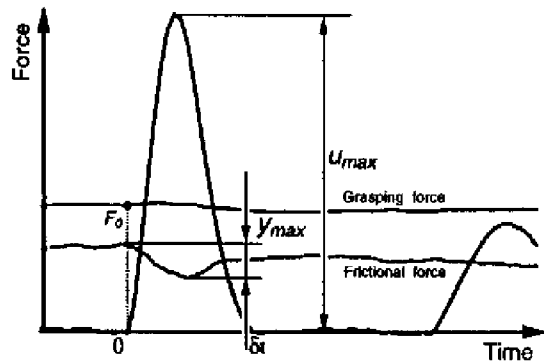


Fig. 7 衝突波形の解析

拘束にあまり影響を受けないことが分かる。

次に、力積量について調べる。力積量 I は衝突力 F_{floor} を用いて次式のように示される。

$$I = \int_0^{\delta t} F_{floor} dt \quad (1)$$

ただし δt は衝突時刻、 F_{floor} は床からの衝突力である。一方、把持物体の質量および位置をそれぞれ M 、 $x(t)$ とした場合、力積量 I は衝突による運動量変化と等しいので、

$$I = M\dot{x}(0) - M\dot{x}(\delta t) = (M + m_\alpha)\dot{x}(0)\{1 + e\} \quad (2)$$

となる。ただし e は跳ね返り係数である。なお、 $(M + m_\alpha)$ は仮想質量であり、 $m_\alpha = 0$ のとき無拘束状態において把持物体を置いた時の衝撃力の力積量と等価になる。

ここで、接触速度と床からの衝撃力の力積量との関係を Fig. 9 に示す。ただし力積量は、Fig. 7 において式(1)より求めたものである。図よりピーク値と同様に力積量は接触速度に対して線形であり、

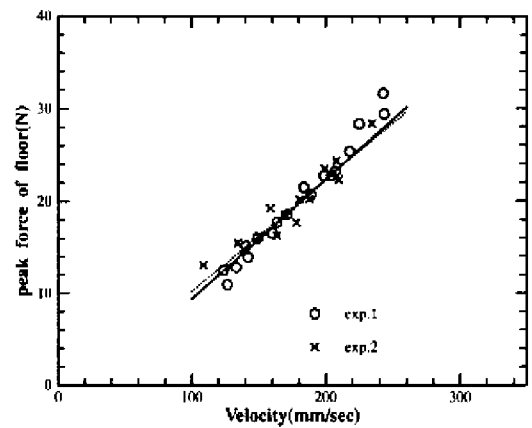


Fig. 8 接触速度とピーク値との関係(実験1, 実験2)

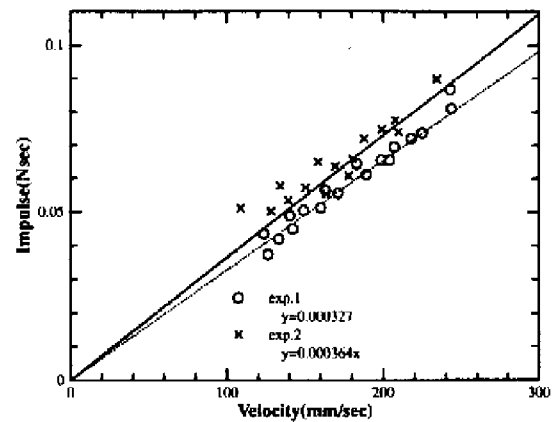


Fig. 9 接触速度と力積量との関係(実験1, 実験2)

式(2)における $\{1 + e\}$ の値は、定数であることが確認できる。また指先を拘束した状態では、拘束しない状態に比べて力積量は増加している。これは、Fig. 6 に示されるようにピーク値を過ぎた後の衝突時間が長くなるためであり、指先の弾性要素が衝撃力吸収に効果のあることが分かる。実験2の測定結果について最小自乗法で直線近似した場合、式(2)において仮想質量は、 $(M + m_\alpha) = 234g$ となり、把持物体に比べて約 34g 重い物体を置く際の衝撃力の力積量と等価な値となる。次に、実験3, 4における力積量の測定結果を Fig. 10, 11 それぞれに示す。なお図中の直線は、Fig. 9 における実験1の力積量のデータを最小自乗法で直線近似したものである。図より、それぞれの力積量が無拘束状態の実験とほぼ同じ値になることが確認できる。すなわちMP関節や手首のみによる衝撃吸収効果はほとんど見られない。ここで把持物

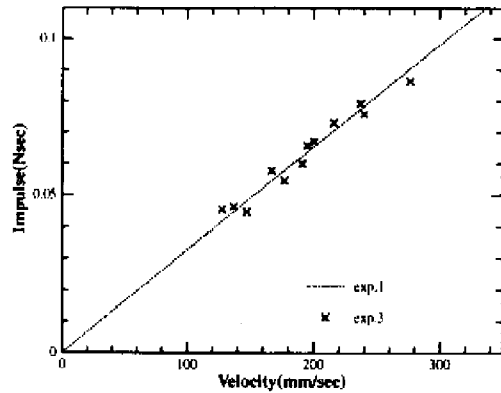


Fig. 10 接触速度と力積量との関係(実験1, 実験3)

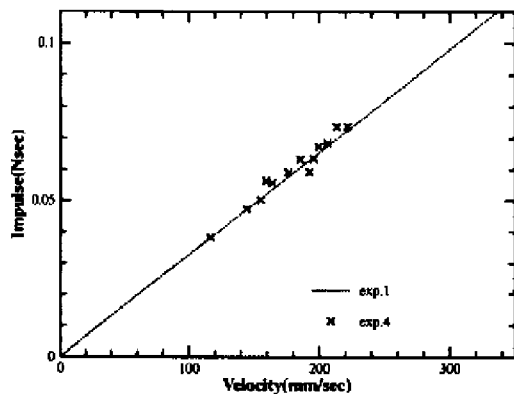


Fig. 11 接触速度と力積量との関係(実験1, 実験4)

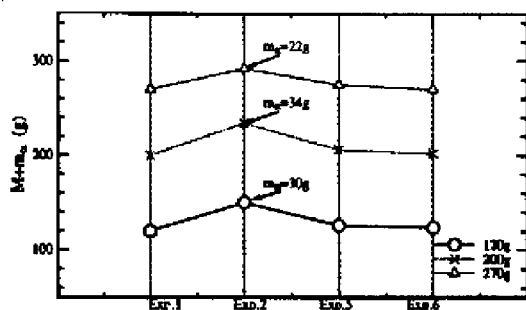


Fig. 12 仮想質量 ($M + m_a$) の変化 ($M=120g, 200g, 270g$)

体が120g, 270gのときも同様の解析を行い, 仮想質量 ($M + m_a$) の値を計算した. その結果を Fig. 12 に示す. 図より, いずれの重量の把持物体においても, 実験2の場合の m_a の値が大きくなっている. 従って, 指先の弾性要素が把持物体の重量に関わらず, 衝撃力吸収に効果があることが分かる. 把持物体の重量が120g, 200g, 270g に対して実験2の仮想質量の値はそれぞれ ($M + m_a$) = 150g, 234g, 292g となり, それぞれ把持物体の重量に対して約30g, 34g, 22g の重さが加わった重い物体

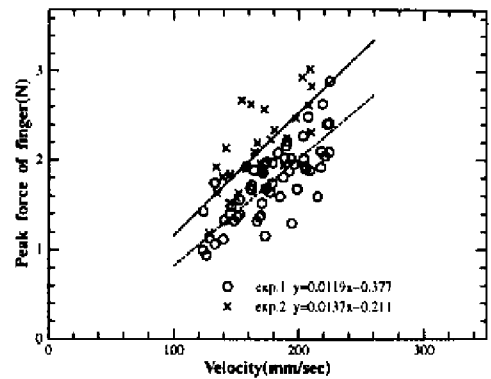


Fig. 13 接触速度と指先の摩擦力の変化量(実験1, 実験2)

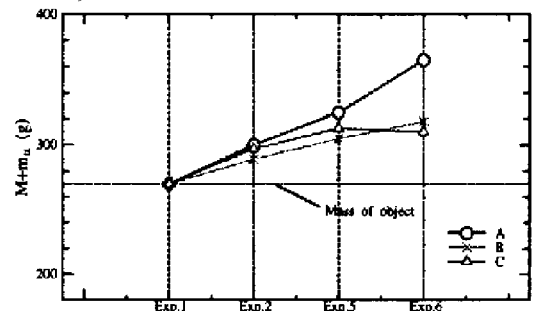


Fig. 14 把持物体の仮想質量 ($M + m_a$) の変化(被験者 A, B, C)

を置く際の衝撃力の力積量と等価な値となる.

Fig. 5 によると, 衝撃力の第1ピークが生じると同時に指先の摩擦力にも負の方向にピーク値が生じていることが分かる. ここでは, 接触速度と Fig. 7 に示されるピーク値 y_{max} との関係について調べた. 測定結果を Fig. 13 に示す. 図より接触速度が増加するのに伴い指先に加わる力のピーク値が増加していることが分かる. また, 指先を拘束した場合, その値が増加することが確認できる. この理由としては, 指先の弾性要素を拘束した場合, 手および腕の影響により, 物体を下に押す力が作用するためと考えられる. 逆に, 把持物体を置くときに拘束がなければ指の弾性要素によって, 手や腕から受ける力を緩和してと思われる.

次に, 指先の弾性要素, MP 関節, および手首を順に拘束した場合の衝撃特性の変化について調べる. 質量が270gの把持物体を用いて, 実験1, 2に加え, 新たに以下の実験を3人の被験者 A, B, C に対して行なう.

実験5 指先およびMP関節を拘束した場合

実験6 指先, MP関節および手首を拘束した場合

得られた測定波形から, 式(2)における仮想質量($M + m_a$)の値を求めた. 各実験における仮想質量($M + m_a$)をFig. 14に示す. 図より, どの被験者に対しても拘束する部分を増やすと, 仮想質量($M + m_a$)の値は大きくなることが確認できる. 特に被験者Aの場合には, その傾向が顕著に見られ, 無拘束状態で, 把持物体の質量が270gであるのに対して, 指先, MP関節, および手首すべてを拘束することにより, 仮想質量がそれぞれ, 約300g, 325g, 365gに増大している.

5. 結言

本研究では, 把持物体を置く動作における衝撃特性について調べた. 人間の指先の弾性要素は, 接触時の衝撃力の吸収に効果がある. またMP関節および手首に関しては置く動作において衝撃吸

収の効果は少ない. また測定波形から仮想質量を求め, 人間の指および手における鉛直方向の自由度が衝撃特性に影響を及ぼすことを示した.

なお本研究は平成9~10年度文部省科学研究費(日本学術振興会特別研究員奨励費 No.6227)および財団法人メカトロニクス技術高度化財団の補助を受けている. 各関係者に心から謝意を表す.

参考文献

- 1) 北垣高成, 内山勝: "外部環境に対するマニピュレータの最適接近速度" 日本ロボット学会誌, Vol.8, No.4, 413/420, 1990.
- 2) 永田和之, 小笠原司, 小俣透: "多関節ロボットの柔軟な突き当てのための最適速度ベクトル" 計測自動制御学会論文集, Vol.26, No.4, 435/442, 1990.
- 3) 中沢信明, 池浦良淳, 猪岡光: "人間の把持特性の実験的考察-把持物体を置く場合-" 人間工学, Vol.32, No.5, pp.223-229, 1996.
- 4) 池浦良淳, 藤井祥央, 猪岡光: "手腕系の衝撃吸収特性", 日本機械学会論文集, Vol.60, No.580(1990-09).
- 5) 正司康雅, 稲葉忠, 福田敏男, 細貝英実: "衝突を含むロボット・マニピュレータの安定制御", 日本機械学会論文集, Vol.56, No.529(1990-09).