

## CPS の概念を導入した土木技術開発手法について (その3)

## ー 作業の自動化を行う判断指標としての作業強度の定量評価 ー

大成建設(株) 技術センター 正会員 ○高井 賢、名合 牧人、石井 喬之  
(株)テラバイト Julien Groud

## 1. はじめに

建設業界の生産性の向上や労働環境の改善を目的として、筆者らは左官仕上げなど身体的疲労を伴う人力作業のロボット化について報告した<sup>1)</sup>。現状、人力作業のどの部分をどのように自動化やロボット化するかについては、作業員へのアンケートなどを参考に行っている。しかし、アンケートなどの人の感覚による評価では個人差があり、定量評価ができない。このため自動化やロボット化による建設生産システム全体系への影響評価や効果の判断も困難であり、開発における社内コンセンサスを得難いという課題もある。一方で、近年モーションキャプチャーにより計測した人の動作データを解析することにより人体への負荷を推定する技術が報告されている<sup>2)</sup>。

そこで筆者らは、現状の作業における作業員の負荷を作業強度と称し定量評価することを目的として、モーションキャプチャーにより計測した作業員の動作データを解析し、作業による人体への負荷の定量評価を試みた。本稿では、計測結果及びアシストデバイスの適用効果について定量評価を行った結果を述べる。

## 2. 研究方法

客観的に負荷を評価する指標の一つとして、筋肉の活動度合を指標化した%MVC(Maximal Voluntary Contraction)が挙げられる<sup>3)</sup>。MVCとは最大随意収縮力の意であり、人間が意識的・自発的に発揮する最大の力である。MVCは個人ごと、また筋ごとに異なるため、作業における負荷はMVCに対する割合(%MVC)で評価される。動作データの取得は被験者の全身に41点のマーカを貼り、3次元運動計測装置であるVICONによって位置座標データを100Hzで計測した。被験者は20代男性で身長170cm、体重60kgであった。尚、実験を行う際には、実験の趣旨と目的、実験方法等について説明を行い、十分なインフォームドコンセントを得た後に実施することとした。取得した位置座標データを使用し筋骨格モデルに基づく筋力推定ソフトウェアであるAnyBody Modeling Systemにより%MVCを算出した。

## 3. 計測結果

建設作業において身体的疲労が大きいと考えられた作業「運搬作業」、「鉄筋結束作業」、「揚重作業」について解析を実施した(Fig.1)。動作の概要は次の通りである。

- 運搬作業 : ウォーキングボード上でセメント袋(25kg)を運搬する動作  
鉄筋結束作業 : 中腰姿勢にて鉄筋の結束を行う動作  
揚重作業 : ボード(16kg)を持上げてから下げる動作

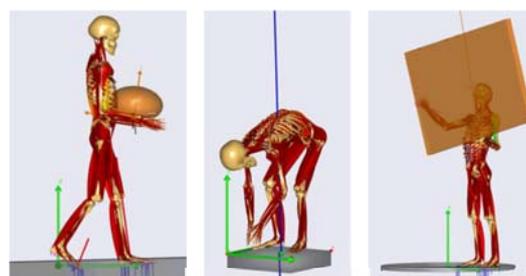


Fig.1 解析対象の筋骨格モデルイメージ

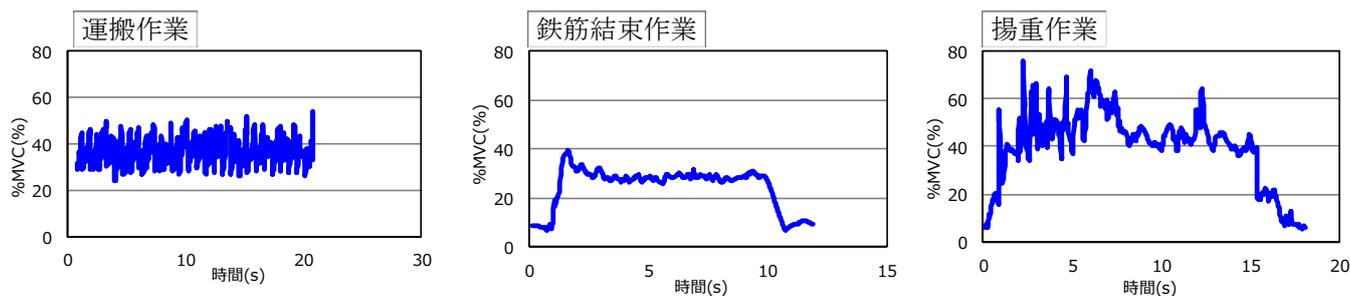


Fig.2 筋骨格解析による最大%MVC算出結果

キーワード 作業強度、定量評価、筋骨格解析、%MVC

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター生産技術開発部 TEL 045-814-7247

体のどの部位を最も駆使しているかを確認するために、各作業における最大%MVCを解析した結果を Fig.2 に示す。運搬作業における平均%MVCは36.9%であり歩行の影響で分散が大きく、重量物を持ったままの移動は平均的に負担が掛かることが分かる。なお、時間最大使用部位は下肢であり次に上腕筋であった。鉄筋結束作業における平均%MVCは24.6%であり分散は小さかった。理由として腰を屈めた状態の作業であることと判断される。なお、時間最大使用部位は脊柱起立筋であった。揚重作業における平均%MVCは40.0%であり、時間最大使用部位は上腕筋であり時間最大%MVCは80%近い結果となった。

以上より作業別の負荷を定量評価する指標として%MVCを適用することが可能と判断される。ここで、3作業の中で筋肉の活動量が最大であった揚重作業を例に労働環境を改善することを想定して、アシストデバイスを装着した場合についても検討を行った。ダム現場の人力によるバイブレータ締め作業に着目しアシストデバイスの適用による作業員の人体への負荷軽減についての評価を試みた。

#### 4. アシストデバイス適用の効果検証

アシストデバイスはマッスルスーツ®(㈱イノフィス)を使用した。およそ30kgのバイブレータを持ち、腰を屈めた低姿勢からバイブレータを持ち上げ、離れた場所に下ろすという作業について前述と同様の手法でデータ取得と解析を実施した (Fig.3, Fig.4)。

腰椎間節反力(腰に掛かる負荷)について解析した結果を Fig.5 に示す。マッスルスーツを装着したことにより作業時の腰椎間節反力が減少していることが分かる。最大値は約8,000Nから5,500Nに減少しており、最大負荷が約4割減少した。一方、米国労働安全衛生研究所は生体力学的な腰痛リスクの基準として第5腰椎/仙骨の圧縮力が3,400N(図中破線)を超えないよう推奨している<sup>2)</sup>。この基準に対してマッスルスーツの装着有無に関わらず基準を超える瞬間は存在するが、スーツ無の作業の場合、基準を超える時間が8.1秒/24秒なのに対してスーツ有の場合は3.8秒/20秒であり、マッスルスーツを装着したことにより基準を超える時間が約44%軽減したことを確認した。

#### 5. おわりに

モーションキャプチャーによる動作データ取得と筋骨格解析による作業員の負荷について定量評価を行い、また、市販アシストデバイスの適用効果の評価した。作業の負荷に関して今までは定性的な判断しかできていなかったが、この評価手法を取り入れることで作業の自動化やロボット化開発を行う際の判断を定量的に行うことができると判断される。今後も他の作業の解析を行うことにより、多くの作業合理化に寄与していきたい。

#### 参考文献

- 1) 名合：日本建築学会，当社のロボット技術開発の取り組み，第11回ワークショップ「労働力不足に対応する建築施工支援技術の現状と展望」，pp5-7，2018
- 2) 岩原ら：人間工学，乗用車運転姿勢のモーションキャプチャーと筋骨格モデルによる身体負荷推定，2008
- 3) 松本ら：Yamaha Motor Technical Review，表面筋電図を用いたペダリング運動時における負担度評価，2010
- 4) T.R. Waters, V. Putz-Anderson, A. Garg and L.J. Fine: Revised NIOSH Equation for the design and evaluation of manual lifting tasks, Ergonomics vol.36, no.7, pp749-776, 1993



Fig.3 モーションキャプチャー状況  
(左：デバイス無，右：デバイス有)

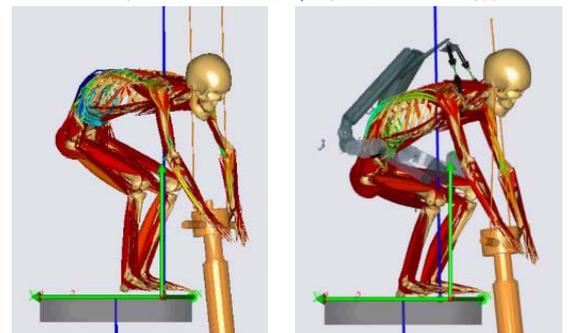


Fig.4 筋骨格モデリング  
(左：デバイス無，右：デバイス有)

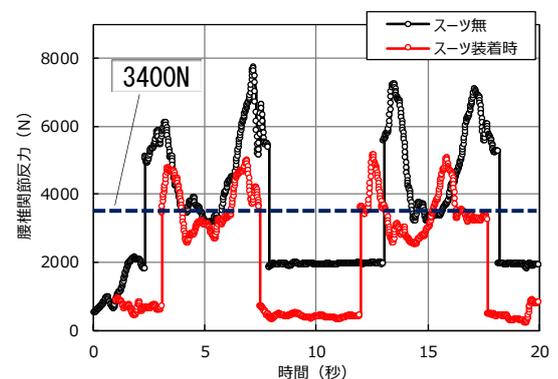


Fig.5 腰椎間節反力の算出結果