

3 軸加速度センサを用いた建設作業員の活動強度評価手法に関する基礎的研究

東京都市大学 学生会員 ○古谷 貴史
東京都市大学 正 会 員 五 艘 隆志

1. はじめに

2016 年 9 月、内閣は国の政策として内閣官房に「働き方改革実現推進室」を設定し、働き方改革の取り組みを提唱した。それを受け建設業界としては、時間外労働の規制や適正な工期設定および賃金水準の確保等を目指し、将来の担い手確保へ取り組んでいる¹⁾。

建設現場は、他産業に比べ厳しい労働環境にある。建設現場の労働作業および労働環境を定量的に示せれば、建設業界の働き方改革へ繋がる可能性がある。

既往研究に着目すると、鈴木²⁾が建設現場の労働環境の把握を目的に、労働作業の 3 軸加速度データから活動強度を評価し、建設作業の方が工場作業よりも活動強度が高いことを示している。しかし、活動強度評価の正確性に課題を残し、改善の余地がある。

本研究は、建設現場の労働作業の活動強度を定量的に評価することを目的に、3 軸加速度や心拍数等のデジタルデータを用いた新たな労働活動強度評価手法の建設作業への適用可能性を工場作業と比較し検証する。

2. 身体活動強度の評価手法の既往文献調査

身体は活動強度は、活動時の酸素摂取量を基に算出した評価方法が最も精度が高いとされている³⁾。しかし、酸素摂取量を計測するためには呼気ガス分析装置を用いる必要があり、建設現場において日常的に計測することは難しい。そこで、作業員の負担等も考慮し、心拍数や加速度を指標として身体活動強度を評価する方法が検討されている⁴⁾。心拍数は酸素摂取量との相関も非常に高いが、身体に関する個人情報の側面がある。日常的に作業員の心拍数データを収集する必要があるため、プライバシーの保護への課題が生じる。加速度センサを用いた活動強度の評価は、歩行等の単純な動作においては酸素摂取量と高い相関が得られている³⁾。

調査結果から、作業員に 3 軸加速度センサを取り付け取得した加速度データを基に、活動強度が評価できれば建設現場における労働作業の活動強度を定量的に把握することが可能と考えられる。

3. 加速度センサを用いた活動強度評価手法の検討

身体は加速度の総和は活動強度に相当すると定義し⁵⁾、活動強度を 3 軸の合成加速度の標準偏差から算出する。実際現場で作業員の動作を観察し記録するワークサンプリングでは、3 分間隔での記録が限界であることから、3 分間隔の平均 3 軸加速度値 K_m (以下、「活動強度」とする。)を式 (1) で算出する。 x_i , y_i , z_i は 3 分間隔の 3 軸別の加速度値を示し、 n は 3 分間に計測される加速度値の個数を示す。

$$K_m = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\left(\sum_{i=0}^n x_i^2 + \sum_{i=0}^n y_i^2 + \sum_{i=0}^n z_i^2 \right) - \frac{1}{n} \left\{ \left(\sum_{i=0}^n x_i \right)^2 + \left(\sum_{i=0}^n y_i \right)^2 + \left(\sum_{i=0}^n z_i \right)^2 \right\} \right]} \quad (1)$$

算出した活動強度 K_m がどの程度正確に作業員の活動強度を表しているかを検証するため、活動強度と 3 分間の平均心拍数との相関を検証する。ただし、心拍数はその瞬間の加速度に直接相関するものではなく、継続した運動で変化することを考慮することとした。

4. 検討手法の労働作業への適用可能性の検証

(1) 使用データの概要

建設作業および工場作業におけるデータの取得概要を表-1 に示す。建設作業は、2018 年 8 月 30 日～8 月 31 日の 2 日間で道路側溝設置に伴う型枠作業を対象に、工場作業は 2018 年 6 月 28 日～6 月 29 日の 2 日間で半田付け等の電子工作作業を対象にデータを取得した。作業員の位置情報を収集するために市販の GPS 端末および作業環境を把握するために温湿度計を備えた加速度センサを用いた。建設作業員はヘルメットに、工場作業員は作業時着用する帽子にこれらを装着した。この温湿度計を備え

表-1 建設作業と工場作業におけるデータの取得概要

作業種類	機械番号	年齢	体重(kg)	身長(cm)	作業内容	備考
建設作業	No.1	61	72	177	重機オペレーター・型枠組立	-
	No.2	65	58	162	休み	データ取得失敗
	No.3	53	63	170	型枠組立	データ取得失敗
	No.4	61	62	166	型枠組立	-
	No.5	62	64	163	型枠組立	-
	No.6	55	58	168	現場施工管理	-
工場作業	No.1	19	66	180	出荷検査	-
	No.2	54	64	160	出荷検査	-
	No.3	32	69	178	完成組組立	-
	No.4	22	72	179	完成組組立	-
	No.5	23	110	172	基板組立	-
	No.6	20	100	169	基板組立	-

キーワード：建設現場、活動強度評価、3 軸加速度センサ、心拍数

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL：03-5707-0104 E-mail：g1618067@tcu.ac.jp

た加速度センサは共同研究している株式会社トアックによって開発されたものである。

(2) 検証結果

本稿では、建設作業は No.1 建設作業員および No.3 工場作業の検証結果を報告する。各作業員の休憩時間を除いた 3 分間の平均活動強度と平均心拍数を図-1 および図-2 に示す。図-1 と図-2 より、建設作業と工場作業どちらも活動強度の波形と心拍数の波形とがおおよそ同じになることが分かった。また、多くの時間帯において建設作業の方が工場作業よりも活動強度が大きいことが確認できる。各作業員の休憩時間を除いた 3 分間の平均活動強度と平均心拍数の相関を図-3 および図-4 に示す。なお、図-3 の建設作業は計測した加速度に対して 3 分後における 3 分間の平均心拍数を使用し、図-4 の工場作業は 1 分後における 3 分間の平均心拍数を使用して比較した。これは、加速度の変動および心拍数の変動には時間差があり、その変動は作業の種類に影響するものと考え、各作業における加速度と心拍数の決定係数 R^2 が最も高くなるものとして設定した。建設作業、工場作業のどちらも R^2 が 0.35 前後であり、活動強度と心拍数の間にやや相関があることが確認できた。建設作業は全作業員の R^2 が 0.30 程度の結果が得られたが、工場作業の No.2, No.5 および No.6 の R^2 が 0.15 前後となり、建設作業に比べて工場作業は活動強度と心拍数との相関にばらつきがみられた。

今回の工場作業は身体の動きが比較的少なく心拍数が上昇しづらい活動と考えられる。そのため、3 軸加速度センサを用いて算出する活動強度と心拍数との相関が低くなったと推察する。

5. おわりに

本稿では、3 軸加速度センサを用いた活動強度評価手法を調査・検討し、建設作業および工場作業への適用可能性があることを確認した。今後の課題として、低強度における活動強度評価の精度向上、温湿度が作業に及ぼす影響および作業員の位置情報を考慮した活動強度評価手法の考案が挙げられる。

謝辞：本研究は、大成ロテック株式会社の山田 敏広氏、長山 清一郎氏、株式会社トアックの濱野 満氏、山口 貴大氏には資料データの提供、貴重なご意見を賜った。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 首相官邸：建設業の働き改革に関する協議会資料、<<http://www.kantei.go.jp/singi/hatarakikata/kensetsu/dail/siryou.pdf>>, (2020.1.12 閲覧)
- 2) 鈴木直：建設現場における労働環境と生産性の実態分析，東京都市大学大学院都市工学専攻修士論文，2019。
- 3) 栗原他：加速度センサを用いた歩行・ランニング時における METs 値推定，電気学会論文誌，電気学会，Vol.129，No.8，pp.1562-1568，2009。
- 4) 大森他：3 軸加速度と心拍数による日常生活時のエネルギー消費量の推定，日本家政学会誌，日本家政学会，Vol. 59，No.4，pp.221-229，2008。
- 5) 松村他：3 軸加速度センサを用いた高精度身体活動量計，松下電工技報，Vol. 56，No.2，pp.60-66，2008。

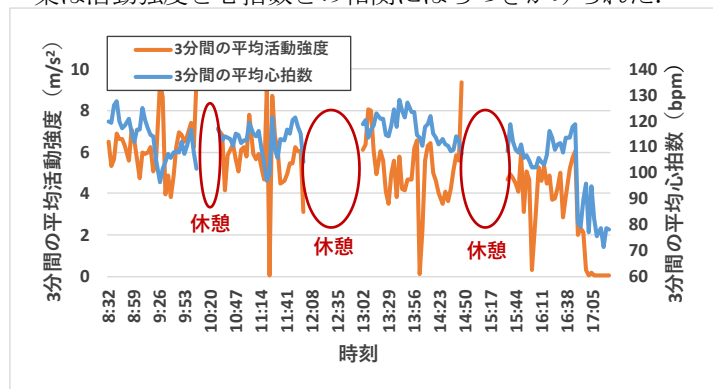


図-1 No.1 建設作業員の活動強度と心拍数

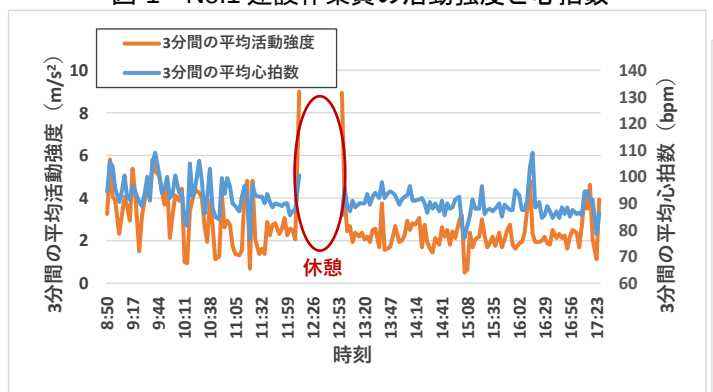


図-2 No.3 工場作業員の活動強度と心拍数

