

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：82629

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12995

研究課題名(和文) 高所作業中の身体動揺と認知ギャップによる転落リスク評価

研究課題名(英文) Assessment of risk of falls due to physical perturbation and cognitive gaps during tasks at height

研究代表者

菅間 敦 (Sugama, Atsushi)

独立行政法人労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所・リスク管理研究グループ・主任研究員

研究者番号：80734201

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、外力の生じる作業中の身体動揺量と知覚量の分析に基づいて、高所からの転落リスクおよび適正な作業領域について検討した。壁を水平に押し込む作業においては、作業高さが低く壁に寄りかかる姿勢をとると、発揮力に対して知覚量が過小評価されるため、腰から上の高さが推奨されることを示した。また床反力作用点の移動量に基づいて知覚量を精度よく近似できることを示した。瞬間的に力が作用する釘打ち機作業では、作業高が高いと反動の影響が大きく、反対に作業高が低いとしゃがみ姿勢による姿勢不安定化のリスクが生じるため、肘から腰程度の高さで作業することが望ましいことを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国内の労働災害では、高所からの墜落・転落が死亡原因のトップを占める。本研究の成果は、主に経験則で作業ルールが定められていた高所作業に対して、安全性を高めるための理論的根拠を与えると同時に、適正な作業領域の指針を具体的に示すものである。本知見を作業現場に導入することで、墜落・転落災害の防止に大きく寄与すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the risk of falls and proper working areas for manual tasks with external or reaction forces based on analyses of the postural perturbation and the perception of applied forces. First, during the horizontal pushing task with a hand, the perceived forces were underestimated due to the body weight while leaning to the wall compared with the applied forces. The travel distance of the center of pressure approximated the perception of applied forces with high accuracy. We recommend a working area higher than the hip level for manual pushing tasks. Secondly, during the tasks with a handheld impact tool, the postural perturbation becomes larger at higher working heights due to the impact force, while the posture destabilized by the squatting at lower working levels. We suggest the working area at the level between the elbow and hip for that the tasks with impact reaction forces.

研究分野：産業人間工学

キーワード：墜落・転落 姿勢安定性 外力 心理物理量 作業姿勢 人間工学 安全工学

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

国内の労働災害では墜落・転落が死亡原因のトップを占めるが、主な起因物の一つに高所作業用具（脚立、踏台、足場台など）がある。高所作業用具からの転落は、用具もしくは作業者の姿勢が崩れることで発生し、主な原因は作業動作にあると考えられている。実際に墜落・転落発生時の作業内容を調査すると、工具の使用や荷物の取扱いを行っている場合が多く見受けられる。しかしながら、作業中に受ける反動や作業姿勢が、作業者の姿勢安定性に与える影響については十分に明らかにされていない。また、人の姿勢バランスは予測的に制御されているため、作業者が反動の影響を正しく認識していなければ、小さい力でも予見できない反動となってバランスを崩すことが考えられる。このように、作業者の認知と実際のリスクとのギャップの影響も無視できないが、これまでに十分に検討されていない。そのため、反動のある作業や特定の姿勢をとる作業に対して、物理的な転落リスクを姿勢動揺から評価し、主観的な予測値と比較することで、転落リスクに対する認知ギャップを明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、作業中に受ける反動が姿勢のバランスに与える影響と、作業者自身の主観的な危険感覚について調査し、物理的な安定性と知覚のギャップについて検証することを目的とする。具体的には、①反動や姿勢のタイプ分類と選定、②主観的な危険感のモデル化、③姿勢安定性の評価実験に基づく総合的な転落リスクの検証、の3項目について検討する。

3. 研究の方法

(1) 外力の生じる作業の分類と研究対象の選定

外力の性質に基づいて作業を分類した。外力の性質は、作用時間（A：外力が緩やかに作用，B：外力が瞬間的に作用）と、予見可能性（①外力のタイミングが予見可能，②外力のタイミングが予見困難）の2つの観点から分類した。例えば、壁を手で押す作業の場合、押し込んだ力の反力として外力が作用するため、外力は緩やかに作用する。一方、金槌や釘打ち機を用いた作業は、瞬間的に外力が作用するため、転倒リスクが相対的に高いと予想される。また、レンチ等を使っている最中に工具がすっぽ抜ける場合は、瞬間的に外力の変化が生じる上、反動が予見できないため、転倒リスクがさらに高まると考えられる。

(2) 知覚量のモデル化

作業者の外力に対する知覚特性を明らかにするため、心理物理学において物理刺激と知覚量の関係性を表すのに用いられるフェヒナーの法則を元に知覚モデルを検討した。フェヒナーの法則とは知覚量が物理刺激量の対数に比例すると仮定するモデルである。

(3) 壁の水平押し力と知覚量の分析

反動が予見可能で外力が緩やかに作用する作業として、前方の壁に向かって利き手の手掌をつき、最大水平発揮力を5秒間継続して発揮させた。実験条件は、高さ条件4水準（足から手までの高さが身長比の35%、60%、85%、110%）、距離条件3水準（外果から壁までの水平距離が上肢長比50%、75%、100%）とした。発揮力は力覚センサ、床反力作用点（Center of Pressure, CoP）はフォースプレートを用いて測定した。作業姿勢は慣性センサ式モーションキャプチャシステムで測定し、三次元人体モデルを用いて身体重心位置を推定した。主観的感覚は、各測定終了後に、基準値（高さ85%×距離75%の知覚量を100とする）と比較して答えさせた。

(4) 高圧エア釘打ち機作業時の反動および身体動揺と主観的な動揺感の分析

反動が予見可能だが外力が瞬間的に作用する作業として、高圧エア釘打ち機を使った釘打ち作業を選定した。戸建住宅建設現場でのヒアリングを行った後、実験室実験として、前方の壁面に設置した木材に釘打ち機で釘を打ち込む作業を、成人10名（男性7名、女性3名）に行わせた。実験条件は、釘の打ち込む高さ4水準（各実験参加者の目線高、肘高、腰高、膝高）とした。測定装置は(3)の実験と同じものに加え、手部の加速度を加速度センサによって測定した。主観評価は姿勢の揺れや不安定感に関する4項目を0～2点（0.5点刻み）の5段階評価で採点させ合計得点を求めた。

4. 研究成果

(1) 壁への水平押し力と知覚量の関係性および適正作業域の提案

力知覚率（知覚量÷発揮力）と作業高さの関係を図1に示す。この結果より、知覚率は高さ条件の影響を受けて変化すること、また知覚率は全体として1.0を下回り発揮力が過小評価されることがわかった。特に高さ35%および60%条件では知覚量が実際の発揮力より40～50%程度低くなる傾向がみられた。このことから、脚立や作業台などの高所作業用具上で、身長比60%以下（おおそ腰より下）の位置で作業すると、作業者の想定より大きな外力が生じ転落するリスクが高まる。そのため高所作業用具上での適正な作業域として、腰より上の高さが推奨される。

また図2に、知覚量と発揮力の関係を対数モデルで検討した結果を示す。このモデルは同じ作業高さでは精度よく推定できたが、作業高さが異なると単一の式で説明することは困難であった。このことから作業高さの影響を加味した知覚量モデルが必要であるとの示唆を得た。

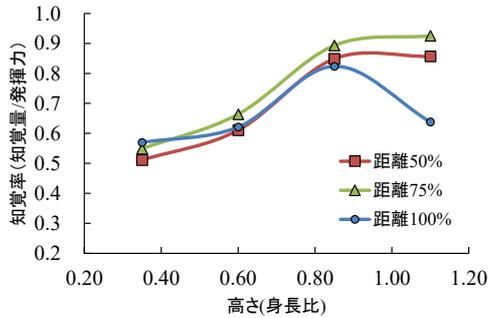


図1 水平押し力の知覚率

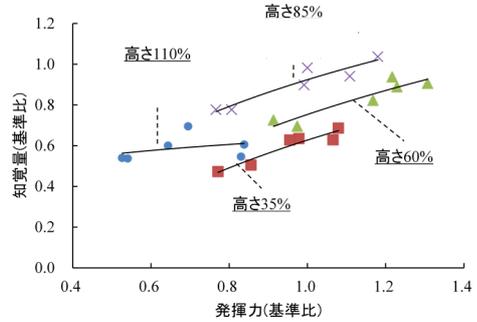


図2 水平押し作業の発揮力と知覚量の関係

(2) 水平押し力の知覚モデルの構築

本研究では、立位での水平押し力の知覚は、主に足底圧力の変化を入力刺激としていると仮定し、CoPの位置変化を評価指標として用いた。具体的には、押し力を伴う二足歩行ロボットの安定性評価に用いられる、Zero Moment Point (ZMP)を含む姿勢モデルを用いた(図3)。ZMPとは足底に生じるモーメントの水平成分がゼロとなる床面上の点であり、CoPの目標点として利用される。次に、作業高さによる影響を加味するため、壁への寄りかかり姿勢による自重成分の増加について検討した。一般的に、作業高さが低いと壁に寄りかかる姿勢をとる。このとき、自重によって発揮力は増加するが足底圧力はしないため、力変化は知覚されないと予想した。そこで静的な姿勢における力とモーメントの釣り合いの式から、外力を受けている際のZMP座標と、外力をモデルに含めない場合のZMP座標をそれぞれ求め、その差をZMP変化量として算出した。知覚量とZMP変化量の関係を図4に示す。この結果より作業高さに依存せず単一の指標で知覚量を精度よく推定できることが示された。ただし、高さ110%×距離100%条件では上肢を伸ばしきった特異な姿勢となることから、このモデルから外れる傾向がみられた。

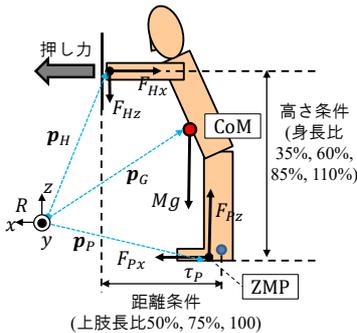


図3 水平押し作業のモデル

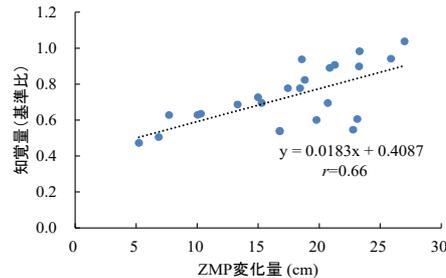


図4 水平押し作業における知覚量とZMP変化量の関係

(3) 高圧エア釘打ち機作業における身体動揺量の評価

静的動揺の指標として、CoPの移動範囲を実効値面積として算出した後、支持基底面積に対する比 (Stability Area Ratio, SAR) として求めた。図5にSARの結果を示す。SARは目線高と膝高間に有意差がみられ、目線高で支持基底の約25%、膝高で約15%となった。一方、作業者の主観的な不安定感、高い作業位置よりもむしろ膝高など低い作業位置で高まる傾向が見られた(図6)。著者らの別研究の検討1)により、しゃがみ姿勢が深くなるにつれてCoPの移動可能範囲である機能的安定性限界 (Functional Stability Limits, FSL) が減少することが明らかとなっている。そのためこれは膝高条件においてしゃがみ姿勢が深くなったことで、潜在的な姿勢の不安定性が高まったためと予想された。

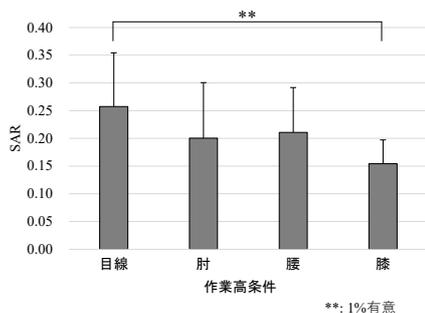


図5 釘打ち機作業における SAR

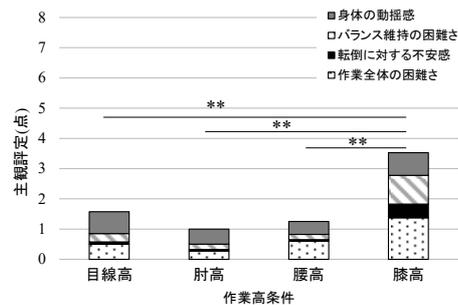


図6 釘打ち機作業における主観的な不安感

(4) 高圧エア釘打ち機の推奨作業域の提案

釘打ち機作業においては、作業位置が高いほど外力が瞬間的に作用することにより不安定化

することが確認された。一方、しゃがみ姿勢をとると静的な姿勢保持能力が低下するため、身体の揺れや外力が生じた際に転倒しやすくなる。そのため、高さを変えながら行うことが多い釘打ち機作業においては、極端に高い位置および低い位置を避け、肘から腰程度の高さで作業することが望ましいと考えられる。釘打ち機作業は転倒リスクの高い作業として知られているが、これまでエビデンスに基づくルール等の提案はほとんど行われていない。そのため本研究成果を利用した作業指針を提案することで、高所からの転落防止やリスクアセスメントの高度化に貢献できると考えられる。

〈引用文献〉

1) Sugama, A, Tonoike, Y, Seo, A. Investigation of the functional stability limits while squatting. *Hum Factors Man.* 2020; 30: 195- 203. <https://doi.org/10.1002/hfm.20833>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sugama Atsushi、Seo Akihiko	4. 巻 819
2. 論文標題 Static Postural Stability on Narrow Platforms to Prevent Occupational Stepladder Falls	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)	6. 最初と最後の頁 710~716
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-319-96089-0_77	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 菅間敦、瀬尾明彦	4. 巻 54
2. 論文標題 脚立作業を想定した狭い足場上での静的立位姿勢の安定性評価	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 人間工学	6. 最初と最後の頁 125-132
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 菅間 敦、高橋 明子、瀬尾 明彦
2. 発表標題 水平押し作業時の発揮力知覚と姿勢安定性評価に関する検討
3. 学会等名 日本人間工学会第60回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅間 敦、高橋 明子、瀬尾 明彦
2. 発表標題 床反力解析に基づく反動工具使用時の身体動揺評価
3. 学会等名 日本人間工学会関東支部第49 回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菅間 敦、高橋 明子、瀬尾 明彦
2. 発表標題 作業姿勢および床反力解析に基づく反動工具使用時の身体動揺評価
3. 学会等名 日本人間工学会第61回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅間敦、瀬尾明彦
2. 発表標題 狭い足場上での静的姿勢安定性と軽作業による影響の評価
3. 学会等名 日本人間工学会第59回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋明子、菅間敦、瀬尾明彦
2. 発表標題 水平押し作業における発揮力知覚の分析
3. 学会等名 日本応用心理学会第85回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菅間敦、瀬尾明彦
2. 発表標題 狭い足場上での静的立位姿勢の安定性評価に関する検討
3. 学会等名 日本人間工学会第58回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菅間敦, 瀬尾明彦
2. 発表標題 狭い足場上での姿勢安定性における上向き姿勢および荷物保持の影響
3. 学会等名 日本人間工学会関東支部第47回大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考