

全天日射量が多くなるほど蓄熱量が多くなる傾向が見られるが、負荷 160W の運動においては全天日射量が中、高の場合には蓄熱量の差はほとんど無く、蓄熱量に対する全天日射量の影響はそれほど大きく現れていない。

これに対し、全天日射量が低、中の場合には、気温などの差が僅かであったわりには蓄熱量に大きな差が見られ、また負荷 110W の運動においては、全天日射量が多くなるほど蓄熱量も増加している。これらのことから、全天日射量は人体蓄熱に対し決定的ではないが、かなりの影響を及ぼすものと考えられる。

(4) 気流速に関する実験

造船所において実際に行っている熱対策の1つとして、放熱を促すための冷却ファンによる送風がある。このような送風が人体の放熱に対しどれほどの影響を及ぼすのかを把握するために、扇風機による送風のなかで運動を行う実験を行った。

蓄熱量に関しては、全天日射量の多少にかかわらず、ファン無しとファン有りとの間に明らかな差が見られ、送風により放熱が促され、蓄熱が抑制されている。

3.3 実験結果の考察

実験において得られた種々の温熱環境要因の計測データと、算出された人体蓄熱量との関係を明らかにするために、統計的手法を用いて考察した。

(1) 相関分析

相関分析¹⁵⁾を行う際には、温熱環境要因相互の重複を除去するために偏相関係数を用いて検証し、人体蓄熱量を目的変数にとり、代謝量、気温、相対湿度、平均放射温度、気流速、皮膚温度、全天日射量などの温熱環境要因を説明変数とした。

代謝量に従い蓄熱量も変化する実験的事実に加えて、皮膚表面での対流熱伝達や周囲からの放射熱交換に関与する気温および平均放射温度の蓄熱量に与える影響は大きい。逆に、皮膚表面での放熱や周囲からの放射による熱交換に関与する気流速や皮膚温度は、これらが上昇すれば蓄熱量が減少するという負の相関が現れている。

相対湿度および全天日射量に関しては、蓄熱量との間に強い相関関係は見られなかったが、これは、実験を行ったのが夏季であり、これらの計測値に大きな変動がなかったためと考えられる。

(2) 重回帰分析

ステップワイズ法による重回帰分析¹⁵⁾を行った。目的変数および説明変数は相関分析と同様とした。Table 1 に回帰係数とその標準偏差、および標準化回帰係数を示す。

Table 1 Regression coefficients of the thermal environmental factors

| Objective variable: Storage of body heat | Regression coefficient | | Normalized regression coefficient |
|--|------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| Explanation variable | β | Standard deviation | |
| Metabolic heat [Met] | 0.974 | 0.974 | 0.974 |
| Air temperature [°C] | 0.949 | 0.949 | 0.949 |
| Relative humidity [n.d.] | 0.417 | 0.417 | 0.417 |
| MRT [°C] | 0.916 | 0.916 | 0.916 |
| Air flow velocity [m/s] | -0.554 | -0.554 | -0.554 |
| Skin temperature [°C] | -0.900 | -0.900 | -0.900 |
| Skylight radative heat [W/m ²] | 0.319 | 0.319 | 0.319 |
| (Constant) [n.d.] | 1.319 | 1.319 | 1.319 |

相関分析と同様に、人体の蓄熱量に大きな影響を及ぼ

す温熱環境要因としては、気温、代謝量、平均放射温度であり、人体蓄熱を抑制する際には、代謝量や気温、平均放射温度、気流速を調整することが最も効果的である。

一方、相対湿度および全天日射量については、相関分析と同様に蓄熱量に対しての影響はそれほど大きくない結果が得られたが、今後より様々な環境条件において実験を行い、検証する必要がある。

4. 暑熱対策とその効果

4.1 各種対策の効果

造船所において取り得るいくつかの熱対策について、人体蓄熱量を計算することにより、その効果を検証した。計算においては、計測データから種々の環境要因を推定し、午後1時から午後5時まで4時間作業を行うものと仮定した。

(1) 遮光ネット

造船所では熱対策の1つとして、日射による受熱を減少させるために遮光ネットが用いられている。

全天日射量を55%カットする遮光ネットを作業中に用いたとして蓄熱量を計算した結果、軽度作業および中程度作業のどちらの場合にも、0.05MJ/m²程度蓄熱量が減少している。しかし、蓄熱の許容値や限界値⁷⁾⁸⁾を下回るほどの減少は見られず、遮光ネットのみの対策では不十分な場合があり得る。

(2) ファンによる送風

造船所で取られている熱対策の1つであるファンからの送風は、実験の結果からも、人体の放熱が促されて蓄熱量の抑制に効果があることが検証された。

ファンの気流速を2.0m/sとして蓄熱量を計算をした結果、ファンが無い場合(気流速1.64m/sとして計算)に比べて蓄熱が抑えられており、蓄熱量の減少は遮光ネットによるものと同程度であった。

(3) 休憩

生産性を考慮すると休憩には限度があるが、30分の作業毎に10分間休憩する場合について蓄熱量の計算を行った。なお、休憩する場所としては、空調を効かせた部屋を用意し、その中で安静座位にて休憩することとした。

計算の結果、休憩中は代謝量が少ないために蓄熱が抑えられ、休憩室での休憩の場合は若干ではあるが放熱もされている。休憩の有無による蓄熱量の差は大きく、特に休憩室の中で休憩することがより効果的である。

ただし、休憩をとることは工程管理の面からも難点があり、予め作業中の休憩を考慮した工程計画を策定することも重要である。

(4) 複数の暑熱対策の併用

上記(1)~(3)の対策を組み合わせた場合について蓄熱量計算を行った結果をFig.5に示す。

これからも分かるように最も効果のある対策は休憩であり、遮光ネットおよびファンによる送風はほぼ同程度の効果である。遮光ネットやファンによる送風、およびそれらの併用は、短時間よりも長時間の連続作業において取るのが効果的である。

また、全ての対策を取った場合の作業員の4時間蓄熱量は、無対策の場合の蓄熱量の2/3以下に抑えられ、人体蓄熱量を十分に抑制できることが分かった。

4.2 等蓄熱量線図

4.1においては、環境要因を推定して作業員の蓄熱量を算出したが、実際には場所や日によって環境条件は異な

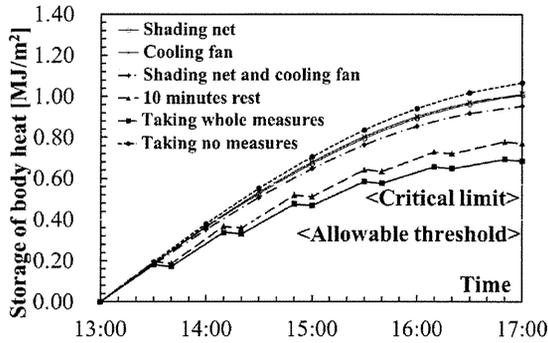


Fig. 5 Storage of body heat in case of work using several measures

り、その状況に応じて作業者の人体蓄熱量を把握し、様々な対策を講じる必要がある。その人体蓄熱量を把握する方法の1つとして、WBGTと代謝量から人体蓄熱量を推定する等蓄熱線図を作成した。これをFig.6に示す。

WBGTは気温、相対湿度、平均放射温度(全天日射量)、気流速を総合した温熱指標であり、気象要因の影響度を1つの指標で表せるものとして採用した。

この等蓄熱線図を用いることにより、様々な状況において人体蓄熱量を容易に把握でき、それらに応じた熱対策を講じることで、日射のある暑熱環境下での作業の労働安全を確保できる。

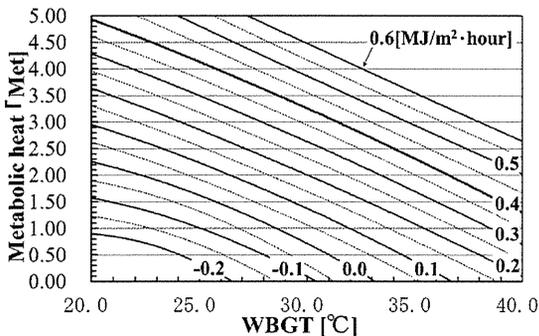


Fig. 6 Contour line of thermal storage related to WBGT and metabolic heat

5. 結 言

造船外業現場における暑熱環境下の労働安全の確保を目的として、外業現場の熱的環境の実態を把握するとともに、エルゴメーターを用いた実験を行い、日射による受熱の影響を加えた人体熱平衡方程式を作成して人体蓄熱量を計算した。また、人体蓄熱量と温熱環境要因との関係を調べ、人体を熱的許容限界内に維持するための熱対策やその効果について評価し、以下の結論を得た。

- 1) 外業現場の熱的環境調査より、夏季の外業現場は温熱指標WBGTがISO7243や日本体育協会の基準値を超え得る熱的に厳しい環境である。
- 2) 実験結果より、人体蓄熱量に大きな影響を及ぼす温熱環境要因は気温、代謝量、平均放射温度、気流速であり、人体蓄熱を抑制するにはこれらを調整することが最も効果的である。相対湿度、全天日射量については相関分析および重回帰分析の結果、影響があまりないと考えられたが、実験を行ったのが夏季でこれらの計測値の変動が小さかったためとも考え

- られ、今後様々な条件においての検証が必要である。
- 3) 熱対策としては、遮光ネットとファンによる送風はほぼ同程度の効果であるが、遮光ネットは日射の多い場合のみ有効な対策である。また、休憩は工程計画において予め休憩時間や間隔を考慮し、休憩室を設置すれば、効果的な熱対策となる。
- 4) 実験や計測で得られたデータを基に、等蓄熱量線図を作成し、様々な環境条件においてWBGTと代謝量から容易に人体蓄熱量を把握できる方法を提案した。

なお、これらの結論は限られた計測と実験に基づくものであり、実活用のためには、さらに多くの計測と実験により精度を高める必要がある。

参 考 文 献

- 1) 中山昭雄(編)：温熱生理学，理工学社，1995.
- 2) 南幸治(編)：建築計画原論・建築設備，共立出版，1957.
- 3) 人間-熱環境系編集委員会(編)：人間-熱環境系，日刊工業新聞社，1989.
- 4) 建築学大系編集委員会(編)：建築学大系8，彰国社，1959.
- 5) 中橋美智子，吉田敬一：新しい衣服衛生，南江堂，1990.
- 6) ISO7933, Hot environmental-Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate, 1989.
- 7) 村山雅己，福地信義，中橋美智子：暑熱環境下の海洋作業における熱的限界と温熱対策に関する研究(その1)，日本造船学会論文集，第179号，1996，pp.239-251.
- 8) 村山雅己，福地信義，中橋美智子：暑熱環境下の海洋作業における熱的限界と温熱対策に関する研究(その2)，日本造船学会論文集，第182号，1997，pp.507-519.
- 9) 村山雅己，福地信義，中橋美智子：海洋暴露作業における人体への熱的影響と温熱対策の評価，日本造船学会論文集，第183号，1998，pp.499-508.
- 10) 井上宇市：空気調和ハンドブック，丸善，1982.
- 11) 空気調和・衛生工学会(編)：空気調和・衛生工学便覧I基礎編，空気調和・衛生工学会，1989.
- 12) ISO7730, Moderate thermal environments-Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, 1994.
- 13) Fanger,P.O：Thermal Comfort, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1972.
- 14) ISO7243, Hot Environments-Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT, 1989.
- 15) 菅民郎：多変量解析の実践，現代数学社，1993.
- 16) 社団法人 日本溶接協会：溶接作業環境管理基準WES9007, 1982.

造船工場の歩行路環境の安全性評価のための歩行分析に関する研究

— NC コンベアラインへの適用 —
 正員 田中 太氏* 正員 篠田 岳思*
 中尾 友彦**

Evaluation for Safety Assessment by Gait Analysis on Walkway at Shipyard
 - Application to Working on NC Cutting Machine Conveyor Line -
 by Takashi Tanaka, Member Takeshi Shinoda, Member
 Tomohiko Nakao

Key Words: Occupational Health and Safety, Gait Analysis, Walk Experiment, Fluctuation

1. 緒言

労働災害の発生リスクの軽減を図るためには、事故発生のメカニズムを明らかにして、予防策を講じる必要がある。スラットコンベアを用いた造船工場のNC切断工程では、多くの切断部材の寸法からスラット間隔が150mm程度と幅広く取られることが多い。このスラットコンベア上を作業者が移動、クレーン作業することがあるが、バランスを取りにくい所を歩行することや、スラットがNCのトーチにより櫛形に変形しているため靴底やプロテクターが引っかかり、躓きによる転倒が懸念される。本研究では、スラットコンベア上の歩行移動について、造船工場のスラットコンベアとモックアップにおいて歩行実験を行い、歩行路環境が歩行時の身体バランスに与える影響について、足裏にスラット面から働く足底圧分布のデータの特徴を抽出することにより、スラットコンベアでの歩行路環境の安全性評価の検討を行った。

2. 歩行路の環境安全性評価のための歩行実験

2.1 歩行動作時の身体バランス・データの取得

歩行実験は造船工場のスラットコンベアとモックアップにおいて行った。Fig.1にスラットコンベアにおける歩行実験の概要を示す。一方、モックアップにおける歩行実験はスラットコンベアと同様に行ったが、スラット間隔を調整できるようにボルトで固定したモックアップを製作した¹⁾。また、歩行の角度により足底にかかる支持点が異なるため、スラット上に歩行方向をマークした。

被験者にはインナソール型の足底圧センサ (Tekscan社製) を敷いた安全靴を履いてスラット上を歩行してもらい、歩行時の身体バランスとして歩行中の足底圧分布について時系列データを取得した。

2.2 歩行路環境と歩行時の身体バランス

歩行時の身体バランスに影響を及ぼすと考えられる歩行路の環境の要因として Table 1 に示す実験条件を設定して歩行実験を行った。スラットコンベアにおける歩行実験ではNC切断工程の作業者6名と学生1名の計7名、また、モックアップにおける実験では学生3名の被験者で行った。

*九州大学大学院工学研究院

** (株) アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド (研究当時 九州大学工学部)

原稿受付 平成23年4月8日

春季講演会において講演 平成23年5月19, 20日

©日本船舶海洋工学会

歩行実験の計測例として、足底圧分布センサの各荷重セルにかかる、1歩行周期 (Gait Cycle) における最大の荷重値の分布を表す足底圧のピーク分布図を、作業者Cの例を Fig.2 に示す。安定な歩行路環境である平坦路上の歩行では、つま先部分の荷重が集中する位置はあまり

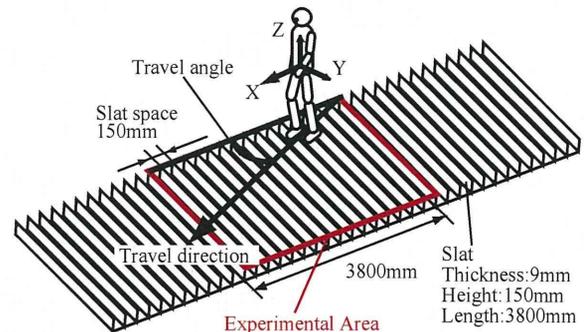


Fig.1 Experimental setup in actual shipyard for human walking on the slat conveyor

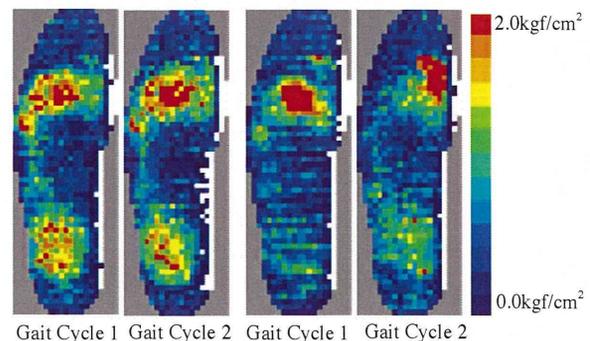
Table1 Experimental conditions

(a) On the actual slat conveyor in shipyard

| Nominal designation | Condition | |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------|
| Flat | Horizontal condition | |
| SY - Travel angle (ex. SY-90deg.) | Slat space (mm) | Travel angle (deg.) |
| | 150 | 90, 60, 45, 30, 0 |

(b) On the mock-up of slat conveyor

| Nominal designation | Condition | |
|---|----------------------|---------------------|
| Flat | Horizontal condition | |
| Slat space - Travel angle (ex. 150mm-90deg.) | Slat space (mm) | Travel angle (deg.) |
| | 150, 120, 90, 60 | 90, 60, 45, 30, 0 |



(a) Condition: Flat (b) Condition: SY-30deg.

Fig.2 Change in the peak point of pressure by inner sole type sensors on examinee C (worker)

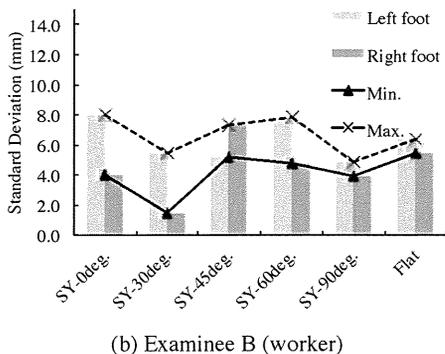
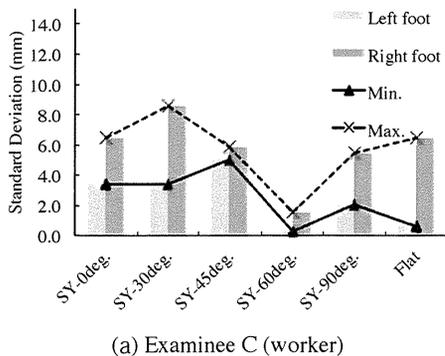


Fig.3 Standard deviation of the peak point of pressure on toe of walking on the actual slat conveyor

変わらないが、歩行しづらいスラット上の歩行角度 30 度における歩行では、つま先部分の荷重が集中する位置や母指球部の荷重位置がゆらいでいる。以上のことから、ピーク分布図におけるつま先部分の荷重集中点のゆらぎと歩行路環境の関係性を把握することにより、歩行路環境の安全性評価の検討を行う。

3. 足底圧分布の荷重集中点のゆらぎによる歩行動作の安全性評価

ここでは、足底圧のピーク分布図におけるつま先部分の荷重集中点のゆらぎを解析するために、踵から荷重集中点までの距離を求め、その距離の標準偏差を比較した。

はじめに、スラットコンベアにおける歩行について比較した。ここでは、Fig.3 に作業員 C と B の例を示す。多くの被験者において、Fig.3(a) に示すように、歩行角度が 45 度と 60 度では標準偏差が概ね極小となり、被験者の歩行時の印象と一致することを確認した。ただし、浅い歩行角度 0 度と 30 度では、Fig.4 に示す、カニ歩き、平行歩き、逆ハの字歩きなど通常と異なる足運びの場合も標準偏差は小さい。なお、Fig.3(b) に示すように、スラット上の歩行に熟練していない作業員は概ねゆらぎが大きい。

つぎに、スラット間隔が調整出来るモックアップ上の歩行について比較した。ここでは、スラットの間隔と歩行角度による歩行中の身体バランスへの影響を検討した。Fig.5 に学生 Y の例を示す。歩行角度については、45 度と 60 度では標準偏差が概ね極小となり、被験者の歩行時の印象と一致することを確認した。また、浅い歩行角度 0 度と 30 度では通常と異なる足運びとなる場合も標準偏差は小さい。一方、スラットの間隔が大きいと、安定した歩行が出来ずにゆらぎが大きく、スラット間隔が小さくなると、ゆらぎの減少も見られるが、歩行データを増や

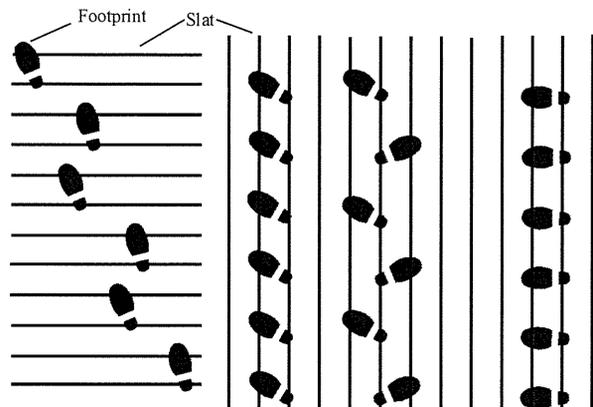


Fig.4 Gait pattern of walking on slat conveyor

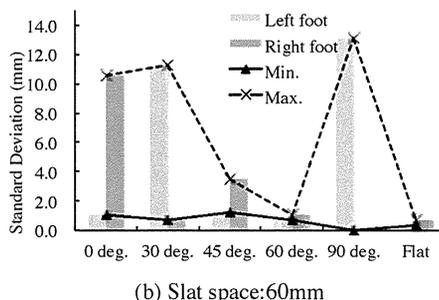
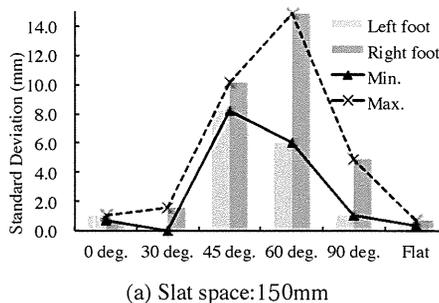


Fig.5 Standard deviation of the peak point of pressure on toe of walking on the mock-up of slat conveyor for examinee Y (university student)

した再度の調査が必要である。

以上のことは、身体の加速度の時系列波形にカオス理論を適用したゆらぎ解析法を用いた歩行路環境の安全性評価の検討¹⁾による、歩行方向は 45 度、60 度が望ましいことと一致することを確認した。

4. 結言

歩行時にバランスを取りにくいスラットコンベアおよびモックアップにおいて歩行実験を行い、歩行路環境が歩行時の身体バランスに与える影響について、足底圧分布におけるつま先部分の荷重集中点のゆらぎを検討することにより、歩行動作の安全性評価の検討を行った。

参考文献

- 1) 田中太氏, 篠田岳思, ゆらぎ解析による造船工場の歩行路環境の安全性評価に関する研究 - NC 切断機のコンベアラインの歩行動作への適用 -, 日本船舶海洋工学学会講演会論文集, 第 11 号, pp.111-112, 2010.11

ネットワークカメラによる造船工場の 作業・安全観測に関する研究

正員 篠田 岳思* 正員 田中 太氏* 正員 柳原 史希**
正員 熊田 徹*** 非会員 瀬々 さおり****

Study on Work and Safety Observation by Network Camera at Shipyard

by Takeshi Shinoda, Member Takashi Tanaka, Member Shiki Yanagihara, Member
Toru Kumata, Member Saori Zeze, Student Member

Key word: Network camera, Monitoring, Work and Safety Observation

1. はじめに

労働安全衛生マネジメントシステム OHSAS18001 では、「事業者は、労働安全の実績を定期的にモニタリングおよび測定するための手順を確立し維持すること」が求められている。しかし、造船所の労働安全管理の現状では災害の事後対処に翻弄されているのが現状であり、災害の事後対処から事前対処へのリスクアセスメント適用による転換が課題となっている。本研究ではリスクアセスメントにおけるハザードの同定、およびそのリスク解析や対策実施後のリスク軽減のチェックについて有効な手法として、ネットワークカメラによる作業安全観測を実際の造船所の切断工程に適用し、作業安全モニタリングシステムの検討を行った。

2. 作業安全観測

2.1 作業安全リスクアセスメント

造船所における労働安全向上のためのリスクアセスメントの方法については、作業員自ら作業の安全改善に取り組めるように工夫し、次の1) 労働災害ハザードの同定、2) 作業安全ハザードのリスク解析 3) リスク軽減対策案の策定、4) 対策実施の合意形成、5) 対策実施後のリスク軽減のチェック、の5つの過程から構成し、実際の造船工場に適用した。

2.2 PDAによる作業・安全観測

作業安全ハザードのリスク解析には、作業と不安全状態を同時に観測することにより、作業に潜む不安全状態を定量的に把握する。これには観測の利便性を図るために、PDA(Personal Digital Assistant, 小型携帯端末)を用いた作業・安全観測方法の開発を行っており、利用効果の検証としてNC切断工程について適用を実施した。

NC切断工程において安全上懸念される事項としては、プラズマやレーザーを利用した装置を用いることからスラットコンベアを採用されていることが多いが、スラット間の隙間が大きく足元が悪いため、作業や移動に伴う動作を行うには身体が不安定になることあり、時折、労働災害が発生している。日本造船工業会による「休業災害(含む死亡)調査報告」の災害事例では、スラットコンベア上でのクレーン操作の際の転倒や、不安定な状態にあった切断材に乗り転倒することや、NC切断機が稼働

している際の機器との挟まれがある。

NC切断工程における要素作業の内、安全レベルが危惧される事象として作業・安全観測が実施された際の内訳をTable1に示す。この工程ではスラットコンベア上での切断や移動に関する要素作業に不安全状態が多く、災害の型分類では、転倒・躓きが最も多く、次に、NC切断機器との接触への不安全が懸念されている。特にスラットコンベア上移動では安全レベルにおいて災害直結すると考えられる例が5件あり、これまでに発生したこの種の事故の特徴と一致した。

3. ネットワークカメラによる作業・安全観測

3.1 作業・安全モニタリングシステムの構築

作業・安全観測のため動画の撮影や画像の効率的な分析方法として、ネットワークカメラによる作業・安全観測システムを構築し検討した。本システムの構成図をFig.1に示す。撮影された動画は無線LANを通じて工場外からモニタリングが可能であり、工場の安全管理部門では動画の検索、閲覧、作業観測が可能である。

3.2 不安全状態の検出

作業・安全モニタリングシステムの検討のため、PDA観測を行ったNC切断工程への適用を試みた。この工程でのスラットコンベアを7月1日より12日まで10日間の昼夜二交代の作業についてネットワークカメラにより撮影して得られた動画を目視により作業・安全観測を行った。不安全状態として考えられるものとして81件を抽出した。転倒・躓きが24件と最も多く、残材を処理するために稼働中のコンベア上での歩行等の問題が見られた。また、残材ピットの近くにはスラット交換のために作業があったが墜落・転落への心配も見受けられた。

3.3 NC切断コンベア上における歩行の分析

Table 1 Result of work and its safety observation by PDA observation

| 要素作業 | ルール違反 | 災害直結 | 不安全発見件数合計 | 観測件数 (不安全発見率) | 災害の型分類 | | | |
|---------|-------|------|-----------|------------------|----------|---------------|----|-----|
| | | | | | 転倒 | 激突 | 高温 | その他 |
| | | | | | 転倒 躓き | 機器 接触 等 | 火傷 | |
| NC操作 | 2 | | 2 | 44 (5%) | | | | 2 |
| グラインダー | 3 | | 20 | 52 (38%) | 2 | 6 | | 12 |
| コンベア上移動 | | 5 | 21 | 49 (43%) | 19 | 2 | | |
| ノロ・手切断 | | 1 | 1 | 21 (5%) | | 1 | | |
| 機器監視 | 2 | | 2 | 27 (7%) | | | | 2 |
| 機器準備 | 1 | | 1 | 18 (6%) | | | | 1 |
| 残材切断 | 3 | | 29 | 87 (33%) | 6 | 11 | 9 | 3 |
| 書き入れ | | 1 | 1 | 44 (2%) | | 1 | | |

* 九州大学大学院工学研究院
** DNV (研究当時 九州大学工学部)
*** 商船三井 (研究当時 九州大学大学院工学府)
**** 北九州市役所 (研究当時 九州大学工学部)
原稿受付 平成23年9月19日
秋季講演会において講演 平成23年11月1,2日
©日本船舶海洋工学会

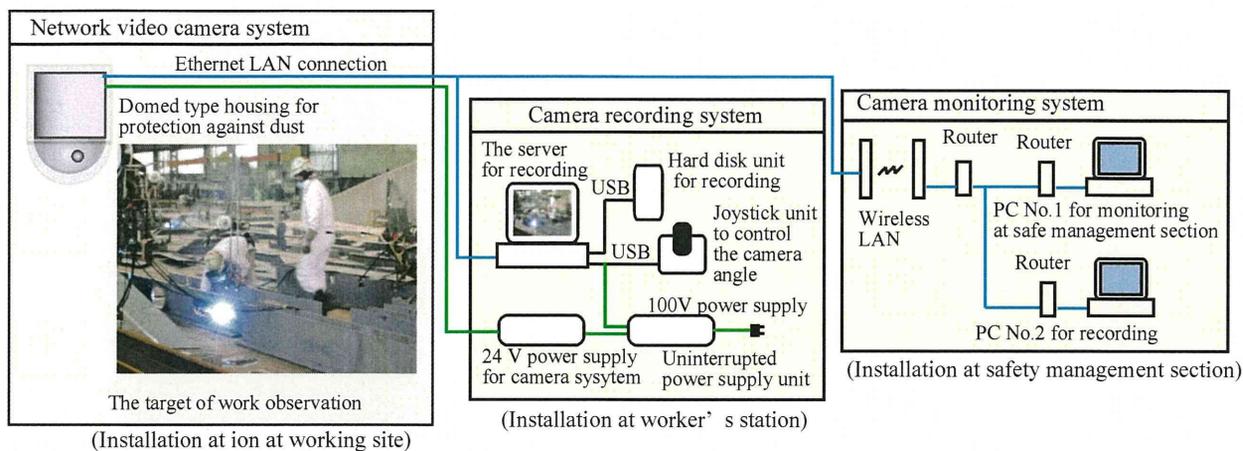


Fig.1 Construction of work and safety observation system by network camera

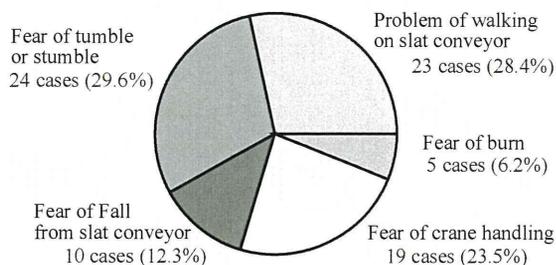


Fig.2 Fear of safe manner on work and its safety observation by safety observation system

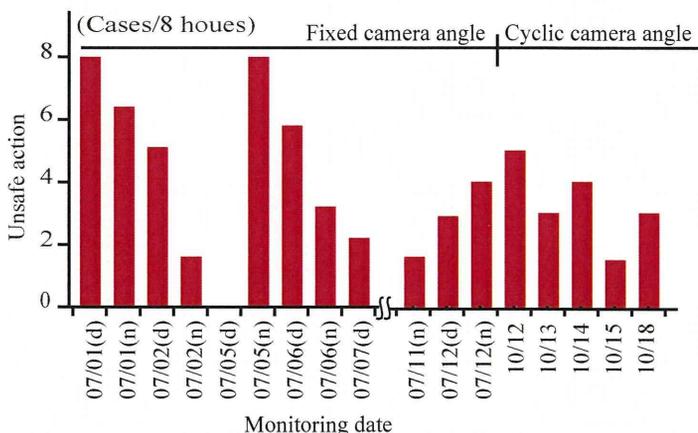


Fig.3 Comparison of work and its safety observation by camera angle

Table 2 Feature and key point of attention under working on NC conveyor line

| 歩行タイプ | 特徴 | 注意点 |
|--------------|---|--------------------------------------|
| 歩き始め 振り返り | 歩行始め第一歩目における不安定が多い。 振り返り等の急激な方向転換の際にバランスを崩す。 | 1歩目に注意を払う。 急激な方向転換は避ける。 |
| 鋼材乗り | 比較的小さな部材や端材上に乗ることで、 部材が動きバランスを崩す。 | 転倒の恐れがあるため、コンベア上の小さな 部材・端材には乗らない。 |
| 歩行角度 | スラットに対して45°以下での歩行の際に 不安全事象が最も多い。 | 歩行の際は45°以上での歩行が望ましい。 |
| 歩行速度 | 不安全事象が生じる際は通常歩行に比べ 極端に遅いことが多い。 | 安全通路と同様程度の歩行速度が望ましい。 走るとは怪我に繋がる。 |

NC コンベア上での不安全状態はコンベア上の移動における転倒・躓きが多いため、コンベア上の歩行をコンピュータ・プログラムによる分析を行った。分析では転倒・躓きはスラットに対し浅い角度の歩行に比較的多く、コンベア上でのふらつきから、歩行の角度と速度の調査も行った。この調査によると歩行角度は0°、30°の頻度が高く、歩行速度は0.4-0.8m/s、0.8-1.2m/sの頻度が高いことが分かった。また、観測された歩行の不安全状態を安全な歩行と比較し不安全状態の特徴を抽出し歩行のガイドラインを検討した (Table 2 参照)。

4. ネットワークカメラの観測スキームの検討

ネットワークカメラを用いた作業・安全観測システムを効率的に運用するために、観測スキームの検討を行った。撮影の画角を固定したカメラ固定方式 (2010年7月1日-12日) と11の異なる画角を巡回するカメラのローテーション方式 (2010年10月12日-18日) により撮影した画像から観測された不安全状態の発見件数の推移を

Fig.3に示す。なお、図には作業の1シフト8時間当りに観測された不安全状態の件数として表している。発見件数の平均はカメラ固定方式とカメラローテーション方式では、それぞれ3.5件/8hと3.3件/8hとなりほぼ同程度であることから、カメラローテーション方式でも不安全状態を推定できることが分かった。

5. 結言

ネットワークカメラによる作業・安全モニタリングシステムによるハザードの同定およびリスク解析の検討を、実際の造船工場の切断工場に適用し、これまでのPDA観測法との比較を行い有効性を確認した。

参考文献

1) 篠田, 熊田, 田中; ネットワークカメラによる造船工場の作業・安全観測システムの構築に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第12号, 2011, pp.285-286

造船工場のNCコンベアラインの歩行路環境の安全性評価に関する研究

正員 田中 太氏* 正員 篠田 岳思*

Development of Safety Assessment for Environment of Walking Way on NC Conveyor Line at Shipyard

by Takashi Tanaka, Member Takeshi Shinoda, Member

Key Words: Occupational Health and Safety, Gait Analysis, Walk Experiment

1. 緒言

労働災害の発生リスクの軽減を図るためには、事故発生のメカニズムを明らかにして、予防策を講じる必要がある。スラットコンベアを用いた造船工場のNC切断工程では、多くの切断部材の寸法からスラット間隔が150mm程度と幅広く取られることが多い。このスラット定盤上を作業者が端材処理、部材消し込み作業のための移動、クレーン作業することがあるが、バランスを取りにくい所を歩行するため、身体バランスを崩す恐れがある。本研究では、NC定盤のスラットコンベア上の歩行移動について、実際の造船工場での歩行実験とスラットコンベアを模したモックアップを製作して歩行実験を行い、両実験の比較から歩行路環境が歩行時の身体バランスに与える影響を調査した。実験では、足裏にスラット面から働く足底圧分布のデータの特徴を抽出し、これを基にして、歩行路環境の安全性評価の検討を行った¹⁾。

が、歩行しづらいスラット上の歩行角度30度における歩行では、つま先部分の荷重が集中する位置や母指球部の荷重支持点がゆらいでいることが多く、実際の造船工場での歩行実験によると、身体バランスが取れた歩行とバランスが崩れた歩行とでは、この荷重支持点でのゆらぎが顕著である。このことから、ピーク分布図におけるつま先部分の荷重集中点のゆらぎと歩行路環境の関係を把握することにより、歩行路環境の安全性評価の検討を行う。

2. 歩行路の環境安全性評価のためのモックアップ歩行実験

2.1 歩行実験の概要

Fig.1にモックアップにおける歩行実験の概要を示す。スラット間隔を10mm単位で調整できるようにボルトで固定したモックアップを製作した。また、歩行の角度により足底にかかる支持点が異なるため、スラット上に歩行方向をマークした。

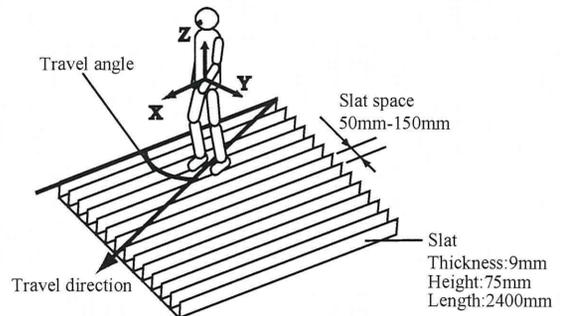


Fig. 1 Experimental setup for human walking on the slat conveyor

被験者にはインソール型の足底圧センサ (Tekscan社製) を敷いた安全靴を履いてスラット上を歩行してもらい、歩行時の身体バランスとして歩行中の足底圧分布について時系列データを取得した。

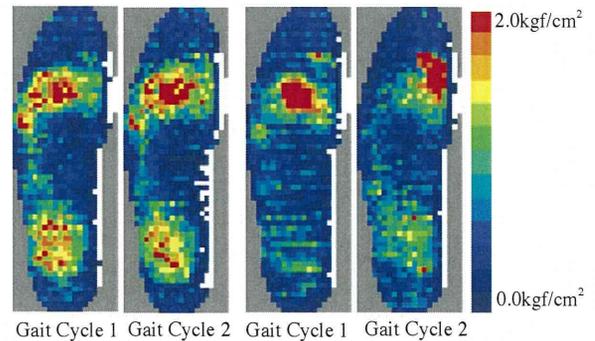
2.2 スラットコンベア歩行時の身体バランス

歩行時の身体バランスに影響を及ぼすと考えられる歩行路の環境の要因として Table 1 に示す実験条件を設定して歩行実験を行った。

Table 1 Experimental conditions of the mock-up of slat-conveyor

| Nominal designation | Condition | |
|---|----------------------|---------------------|
| Flat | Horizontal condition | |
| Slat space - Travel angle (ex. 150mm-90deg.) | Slat space (mm) | Travel angle (deg.) |
| | 150, 120, 90, 60 | 90, 60, 45, 30, 0 |

歩行実験の計測例として、足底圧分布センサの各荷重セルにかかる、1歩行周期 (Gait Cycle) における最大の荷重値の分布を表す足底圧のピーク分布図の例を Fig.2 に示す。安定な歩行路環境である平坦路上の歩行では、つま先部分の荷重が集中する位置はあまり変わらない



(a) Condition: Flat (b) Condition: 15cm-30deg.

Fig. 2 Change in the peak point of pressure by inner sole type sensors

*九州大学大学院工学研究院

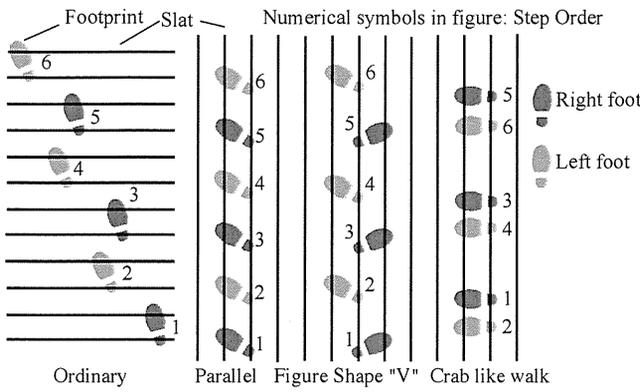


Fig. 3 Gait pattern of walking on slat conveyor

また、実際の造船工場での歩行実験によると身体バランスを確保するために、足運びが作業者により異なり、Fig.3に示すように、通常の足運び、平行歩き、逆ハの字 (Shape V) 歩き、カニ歩きにだまかに分類できることが分かった。これらに加えて、片足のみ外向きに開く足運び (Semi-V)、上体を進行方向ではなくつま先に向けてひねる足運び (Semi-P) もある。モックアップ実験でも同様の足運びが観察された。

3. 荷重支持点のゆらぎ解析による歩行動作の安全性評価

スラットコンベア上での歩行の足運びにともない、足底圧のピーク分布図におけるつま先部分の荷重集中点のゆらぎを解析するために、踵から荷重集中点までの距離を求め、その距離の標準偏差を比較した。ここでは、スラットの間隔と歩行角度による歩行中の身体バランスへの影響を検討した。これを Fig.4 に示す。なお、図には足運びのパターンと、踵とつま先以外の部分でスラットを踏んだ歩数の割合であるスラットの踏み違い割合を示す。

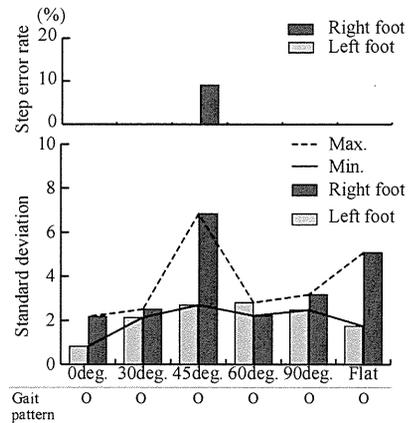
スラット間隔 60mm のときは、全ての歩行角度において通常の足運びが行われ、スラット間隔が大きくなるにつれて、小さい歩行角度では通常と異なる足運びに変わり、足運びが変わり始める角度が大きくなる。また、標準偏差値も全体的に高くなる傾向にある。

また、実際の造船工場でのスラット間隔と同様の 150mm のときは、歩行角度が 45 度と 60 度では標準偏差が概ね極小となり、被験者の歩行時の歩行しやすさの印象と一致することを確認した。また、歩行のリズムが取れず歩行しづらい場合にはスラットの踏み違いも起きていることが分かった。

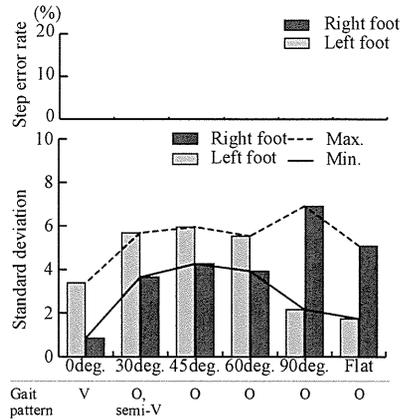
以上のことより、スラットの間隔が大きいときは身体バランスが安定した歩行が出来ずにゆらぎが大きく、スラットの間隔を小さくしていくと、一定の値を境にゆらぎの減少が見られることがわかり、身体バランスが安定した歩行を保つにはスラットの間隔や歩行角度は歩行路検討の重要な要素であることが分かる。

4. 結 言

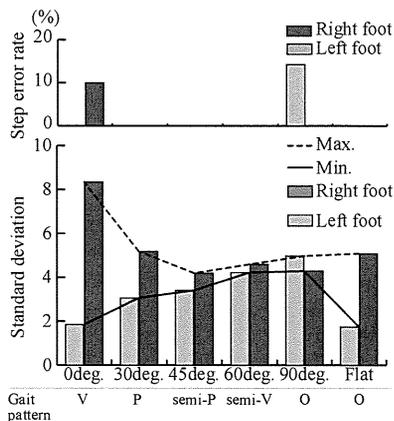
歩行時にバランスを取りにくいスラットコンベアのモックアップを製作して歩行実験を行い、歩行路環境が歩行時の身体バランスに与える影響について、足底圧分布におけるつま先部分の荷重集中点のゆらぎ解析から、歩行路環境の安全性評価の検討を行った。



(a) Slat space: 60mm



(b) Slat space: 90mm



(c) Slat space: 150mm

Gait pattern code

O: Ordinary, P: Parallel, V: Figure Shape "V", semi-P: Loosely Parallel, semi-V: Scissor Gait on One Foot

Fig. 4 Standard deviation of the peak point of pressure on toe of walking on the mock-up of slat conveyor for examinee W (university student)

参考文献

- 1) 田中太氏, 篠田岳思, 中尾友彦, 造船工場の歩行路環境の安全性評価のための歩行分析に関する研究— NC コンベアラインへの適用—, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 12 号, 2011, pp.287-288.

