

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月24日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760785

研究課題名（和文） ゆらぎ解析法による造船所の歩行路環境の安全性評価に関する研究

研究課題名（英文） Evaluation for Safety Assessment on Walkway at Shipyard by Fluctuation Analysis

研究代表者

田中 太氏（TANAKA TAKASHI）

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：70432854

研究成果の概要（和文）：

造船所の重大危惧災害である墜落・転落災害の要因となる身体バランスの崩壊を誘発する歩行路環境について、ゆらぎ解析法による安全性評価の検討を行った。スラットコンベアを用いた NC 切断工程では、切断部材の寸法からスラット間隔が幅広く取られることが多い。このスラット上を作業者が移動、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。スラット上の歩行移動につ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を調査した。

研究成果の概要（英文）：

We discuss an evaluation for safety assessment on the walkway at the shipyard by fluctuation analysis. The typical accident of the process of NC cutting is concerned mainly on the slat type surface plate of NC cutting machine. The main causes are closely related to losing balance and crane operations. The difference of slat space of the conveyer is due to the difference of safety of the walking environment. We attempt experimentally to verify the safety influence of the difference of slat space.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：労働安全、リスク評価、ゆらぎ解析、歩行路環境

1. 研究開始当初の背景

(1) 造船所における労働災害の発生状況

造船所での労働災害は日本造船工業会での取り纏めによると 1972 年の労働安全衛生法の制定以降減少傾向が続いたが、1999 年頃から災害発生件数、災害度数率ともに再び増加傾向にある。

(2) 労働安全衛生管理の現状

労働安全衛生マネジメントシステム OHSAS18001 が 1999 年に国際的に規格化され、国内では改正労働安全衛生法が 2005 年に制定された。これらでは、労働安全衛生指針の策定、管理計画、実施運用、チェック、

フィードバック等の PDCA サイクルを求めている。一方、造船所では労働安全衛生の管理者および現場の安全スタッフは災害の事後対処に翻弄されており、リスクアセスメントによる災害の事前対処への転換が課題となっている。

(3) 作業安全リスクアセスメントの提案

これまで代表者らは、造船所の事故を未然に防ぐために、言葉によるあいまいなリスク解析ではなく、リスクアセスメントによる作業および作業環境の合理的な安全改善に役立てることを目的に、労働災害のデータベースの構築を始めとして、IE(Industrial

Engineering)における作業観測法を適用した作業・安全観測法による作業や作業環境の潜在危険の把握と定量的な不安全状態の把握、安全改善の対策の立案方法について提案した。実際の造船所にも適用し、リスクアセスメントの手順書の整備を行い、観測対象の選定から作業・安全観測方法、対策の検討までの流れを体系的に整理した。さらに、作業者達自らが改善に取り組めるように工夫した。

(4) 歩行中の身体のゆらぎ解析による歩行路環境の安全性評価の提案

一方、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。造船所での転落・墜落災害は全労働災害の30%を占める重大危険災害である。これまでに、代表者らは、転倒、墜落・転落災害の要因となる身体バランスの崩壊を誘発する歩行路環境の安全性の評価に、カオス解析の手法であるリカレンスプロットを適用したゆらぎ解析法を提案し、この解析法を用いて種々の歩行路環境の下での歩行に現れる身体バランスのゆらぎを解析することにより、歩行路環境と身体バランスの関連性を把握できることを確認した。また、安定な歩行状態での身体バランスと不安定な歩行状態を引き起こす歩行路環境下での身体バランスについて、ゆらぎの不一致度によりゆらぎの違いを定量化した。さらに、ゆらぎの不一致度を異なる歩行路環境下での歩行状態において検討を行い、歩行路環境の安全性評価のための指標作りの可能性の検討を行ってきた。

2. 研究の目的

作業安全リスクアセスメントにおいて、改善対策を定量的に評価出来れば、アセスメントの次の段階で、所長・工場長等の意志決定者、安全管理者・作業者の対策実行者の間で合意を形成し易い。本研究は改善対策の安全性について定量的に評価する方法の構築を目的として、実際の作業現場に導入しやすい歩行動作の計測法とゆらぎ解析法による歩行路環境の安全性の定量的な評価を目標とする。

3. 研究の方法

(1) 歩行路環境のリスク評価

これまでに、造船所での労働災害についてリスク要因の発生頻度・確率を推定するために、日本造船工業会の取り纏めによる「休業災害(含死亡)調査報告」を用いて、墜落・転落災害についてデータベースを構築し、災害発生モードについて発生頻度と危害の大きさを軸にしたリスクマトリクスを分析した。身体バランスの崩壊による転倒事故や、転倒が引き金となった墜落・転落災害もあり、

歩行状態から災害の発生に至ることが多いことから、作業者に遭遇の可能性のある歩行路環境の安全性評価について検討した。

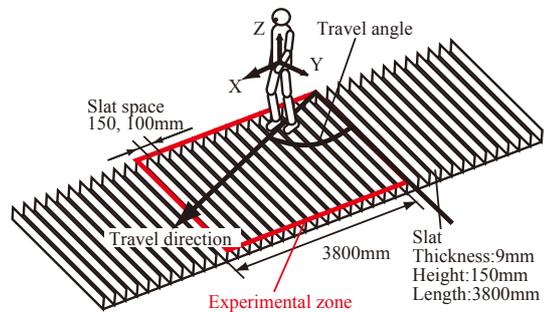
(2) スラットコンベア上の歩行路環境

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、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から荷重移動の特徴を抽出することにより、歩行路環境の安全性評価の検討を行った。

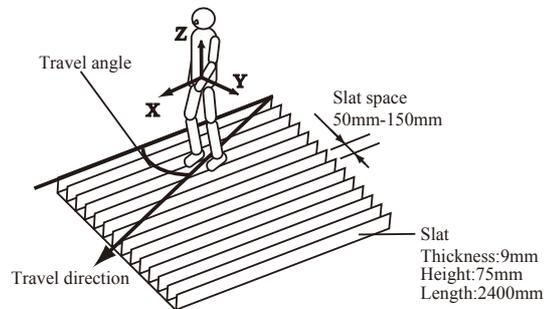
(3) 歩行路の環境安全性評価のための歩行実験

(i) 歩行実験の概要

図1に概要を示すように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った。実際の造船工場では2種類のスラット間隔のスラットコンベアで行った。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スラットを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。



(a) 実際の造船工場におけるスラットコンベア



(b) スラットコンベアのモックアップ

図1 スラット上の歩行実験の概要

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。

(ii) 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表 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 切断工程の作業員 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。

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図 2 に示す。安定な歩行路環境である平坦路の上の歩行では、足底の接地面が踵からつま先へ移るのに従って、足底圧分布も踵からつま先へ移動する。

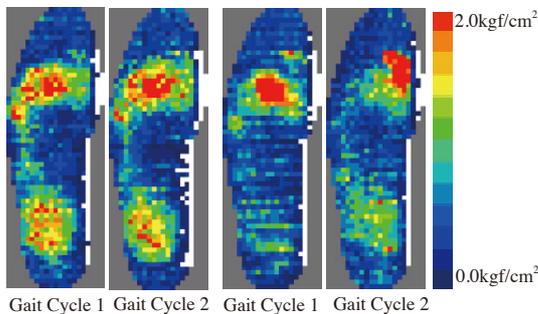
表 1 実験条件

(a) 実際の造船工場におけるスラットコンベア

Nominal designation	Condition	
Flat	Horizontal condition	
Slat space - Travel angle (ex. 100mm-90deg.)	Slat space (mm)	Travel angle (deg.)
	100, 150	90, 60, 45, 30, 0

(b) スラットコンベアのモックアップ

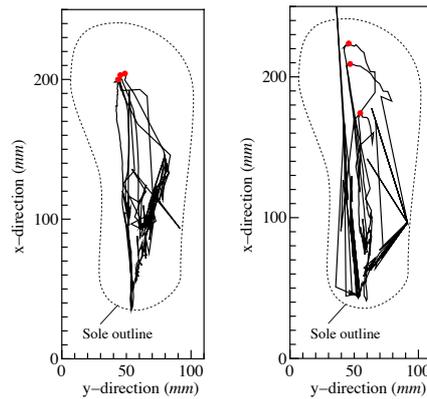
Nominal designation	Condition	
Flat	Horizontal condition	
Slat space - Travel angle (ex. 150mm-90deg.)	Slat space (mm)	Travel angle (deg.)
	150, 120, 90, 60	90, 60, 45, 30, 0



(a) 実験条件: Flat (b) 実験条件: 150mm-30deg.
図 2 足底圧分布のピーク値の分布の比較 (作業員 C)

安定な歩行路環境である平坦路の上の歩行では、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ている。以上のことから、足底圧分布の重心を表す荷重中心点の歩行中の軌跡を比較した。その例を図 3 に示す。この図によると、安定した歩行が出来る平坦路では、最もつま先に近づく先端の点はあまり変わらないが、スラット上の歩行では、その位置がゆらぐため、被験者が歩行しづらいことを示している。実際の造船工場での歩行実験によると、身体バランスが崩れた歩行を安定した歩行と比べると、この先端のゆらぎが顕著であった。このことから、先端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った。

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、足運びが作業員により異なり、図 4 に示すように、通常の足運び、平行歩き、逆ハの字 (Shape V) 歩き、カニ歩きに大まかに分類できることが分かった。



(a) 実験条件: Flat (b) 実験条件: 150mm-60deg.
図 3 荷重中心点の軌跡の比較 (学生 A)

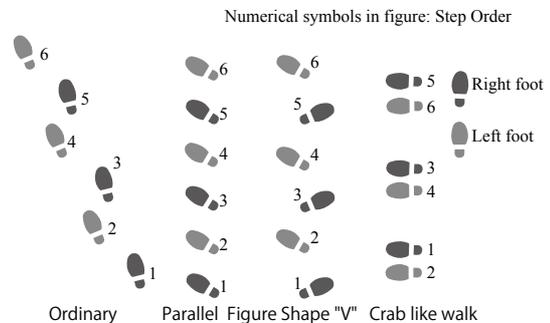
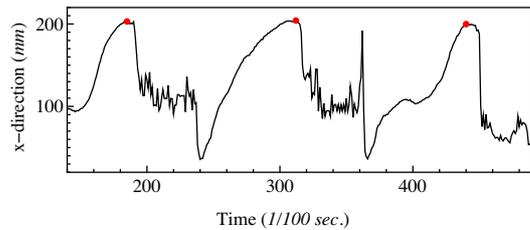


図 4 スラットコンベア上の足運びの種類

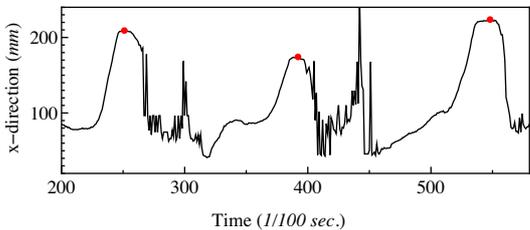
4. 研究成果

(1) 荷重中心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、足底圧の荷重中心点のゆらぎを解析するために、図5に示すように踵から荷重中心点の先端まで距離を求め、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。

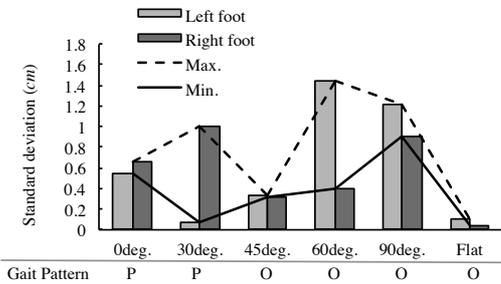


(a) 実験条件: Flat

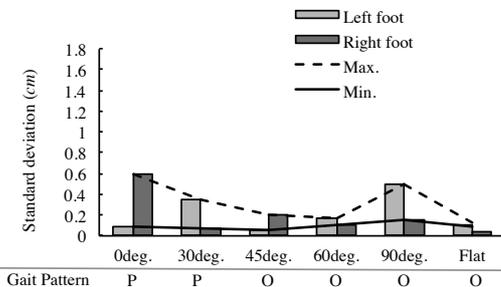


(b) 実験条件: 150mm-60deg.

図5 足底圧分布の荷重中心点の時系列変化 (x方向、学生A)



(a) スラット間隔: 150mm



(a) スラット間隔: 100mm

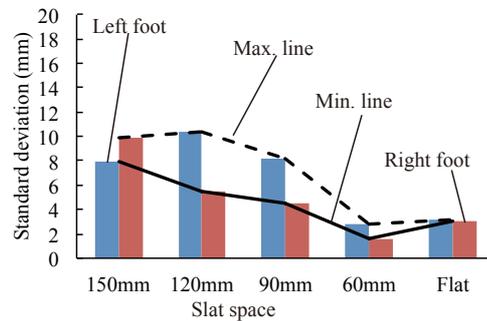
Gait pattern code 0: Ordinary, P: Parallel, V: Figure Shape "V"

図6 荷重中心点の先端位置の標準偏差の比較 (実際の造船工場のスラットコンベア、作業者A)

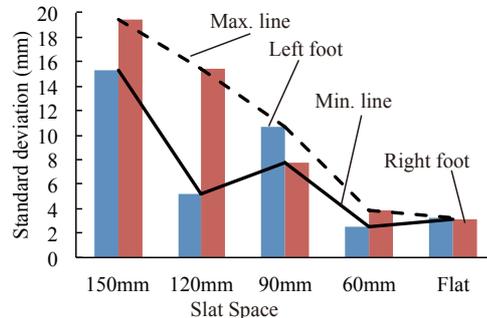
(i) 実際の造船工場のスラットコンベアにおける比較

はじめに、実際の造船工場で使われている、スラット間隔 100mm と 150mm の 2 種類のコンベアにおいて行った歩行実験について比較した。その例を図6に示す。なお、図には足運びのパターンも示す。

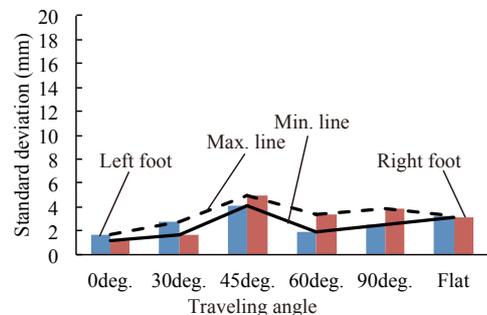
スラット間隔 100mm のときは 150mm に比べて、標準偏差は全体的に小さくなる。また、スラット間隔 100mm, 150mm とともに、歩行角度が 45 度と 60 度では標準偏差が概ね極小となる。さらに、浅い歩行角度 0 度と 30 度では、図4に示す、カニ歩き、平行歩き、逆ハの字歩きなど通常と異なる足運びをしなければならぬ。これらは、被験者の歩行時の歩行しやすさの印象と一致することを確認した。



(a) 歩行角度: 30deg.



(b) 歩行角度: 90deg.



(c) スラット間隔: 60mm

図7 荷重中心点の先端位置の標準偏差の比較 (モックアップ、学生A)

以上のことより、スラットの間隔 150mm の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、スラット間隔 100mm になると、ゆらぎの全体的な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わかった。

(ii) モックアップにおける検討

次に、スラット間隔を変えられるモックアップにおいて行った歩行実験について比較した。その例を図 7 に示す。

いずれの歩行角度においても、スラット間隔が狭くなると、標準偏差は概ね減少する。特に、スラット間隔 90mm と 60mm の間は、標準偏差が大きく減少する。スラット間隔 60mm では、いずれの歩行角度においても、標準偏差が平坦路と同程度まで小さくなる。これらも、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。

以上のことにより、身体バランスのゆらぎが一定の値より小さく、身体バランスが安定した歩行を保つことができるスラット間隔の上限があることが考えられる。さらに、スラット間隔を 60mm まで小さくすると、平坦路と同等な安定した歩行を保つことがわかる。

(2) まとめ

歩行時にバランスを取りにくいスラットコンベアについて、造船工場のスラットコンベアとスラットコンベアのモックアップにおいて歩行実験を行い、スラット間隔と歩行角度が歩行時の身体バランスに与える影響について、足底圧分布の荷重中心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。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

(1) Takeshi Shinoda, Takashi Tanaka, Development of Risk Assessment Methodology for Occupational Safety in Using Work Observation Technique, Proceedings of SNAME Annual Meeting 2012, 221-232, 2012. 10.

(2) 田中 太氏, 篠田 岳思, 柳原 史希, 熊田 徹, 造船工場の作業・安全向上のためのネットワークカメラ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, 15, 131-132, 2012. 11.

(3) 田中 太氏, 篠田 岳思, 松本 拓久, 造船工場の歩行路環境の安全性評価に関する研究-NCコンベアのスラット間隔が与える身体バランスへの影響-, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 15, 289-290, 2012. 11.

(4) 田中太氏, 篠田岳思, 造船工場の NC コンベア上の歩行環境の安全性評価に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 14, 407-408, 2012. 05.

(5) 田中太氏, 篠田岳思, 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, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 13, 101-102, 2011. 11.

(6) 篠田 岳思, 田中 太氏, 柳原 史希, 熊田 徹, 瀬々 さおり, 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, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 13, 99-100, 2011. 11.

(7) 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, 12, 287-288, 2011. 05.

(8) 篠田岳思, 熊田徹, 田中太氏, 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, 12, 285-286, 2011. 05.

[学会発表] (計 8 件)

(1) Takeshi Shinoda, Takashi Tanaka, Development of Risk Assessment Methodology for Occupational Safety in Using Work Observation Technique, SNAME Annual Meeting 2012, 2012. 10. 25., Providence, RI, USA

(2) 篠田 岳思, 田中 太氏, 柳原 史希, 熊田 徹, 造船工場の作業・安全向上のためのネットワークカメラ観測システムの構築に関する研究, 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2012. 11. 26., 千葉県柏市

(3) 田中 太氏, 篠田 岳思, 松本拓久, 造船工場の歩行路環境の安全性評価に関する研究-NCコンベアのスラット間隔が与える身体バランスへの影響-, 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2012. 11. 26., 千葉県柏市

(4) 田中 太氏, 篠田 岳思, 松本拓久, 造船工場の NC コンベア上の歩行環境の安全性評価に関する研究, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2012. 05. 17., 兵庫県神戸市

(5) 田中太氏, 篠田岳思, 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, 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2011. 11. 02., 山口県下関市

(6) 篠田 岳思, 田中 太氏, 柳原 史希, 熊田 徹, 瀬々 さおり, 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, 日本船舶海洋工学会秋季講演会, 2011. 11. 02., 山口県下関市

(7) 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, 日本船舶海洋工学会春季講演会, 2011. 05. 20., 福岡県福岡市

(8) 篠田岳思, 熊田徹, 田中太氏, 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春季講演会, 2011. 05. 20., 福岡県福岡市

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0件)

○取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等:無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 太氏 (TANAKA TAKASHI)

九州大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号:70432854

(2) 研究分担者

無し

(3) 連携研究者

無し