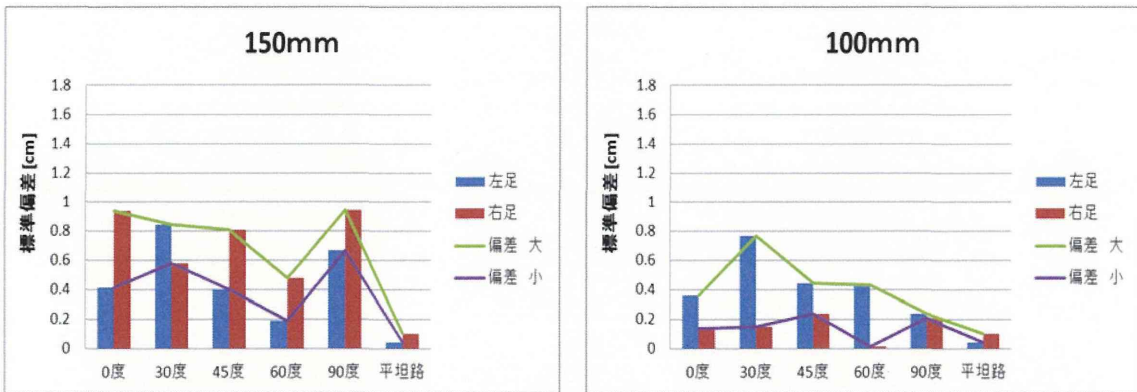
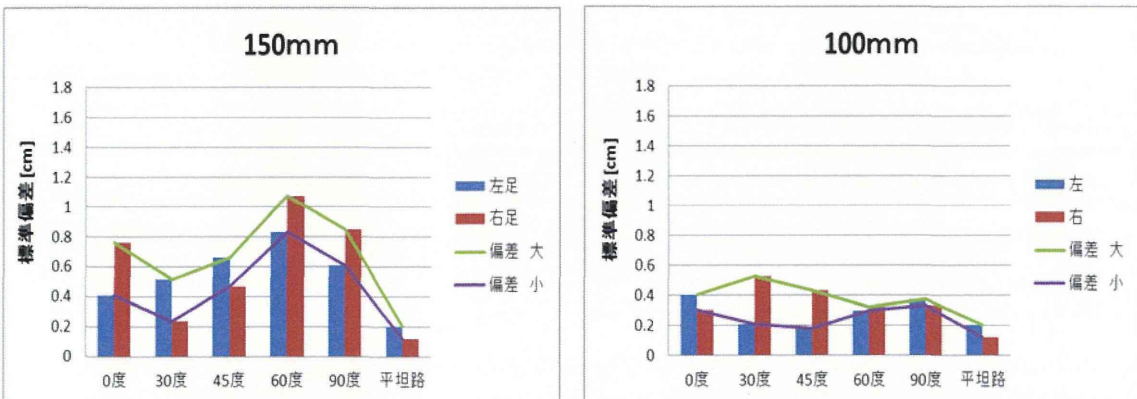


(a) 被験者 A



(b) 被験者 B



(c) 被験者 E

図 C-2-3-7 実際のスラットコンベアにおける歩行角度による比較

表 C-2-3-2 被験者がよく歩く角度

スラット間隔 150mm		歩行角度				
		0度	30度	45度	60度	90度
被験者	A			○	○	
	B					○
	C				○	
	D			○		
	E				○	
	F	○	○			

スラット間隔 100mm		歩行角度				
		0度	30度	45度	60度	90度
被験者	A		○			
	B				○	
	C		○		○	
	D			○		
	E		○	○		
	F			○		

C-2-4 管、スティフナへの足掛け動作の安全性評価

C-2-4-1 実験の目的

反転艀装ブロックでは、作業が進むにつれて管が多く走る状態となり、作業者はブロック内の移動の際、管上やスティフナ上を伝って歩いたり、管上に立って作業することが多い。管に足を掛けた場合、転倒、転落が危惧される。実際に、過去の災害事例では艀装ブロック現場における管の踏み外しによる墜落・転落が多く報告されており、前述の災害ポテンシャルによる検討においても管上での作業や移動に不安全が危惧されることが分かった。ここでは、管とスティフナへの足掛け動作実験を行い、管とスティフナの歩行路環境の安全性について検討した。ここではモックアップを作成し、実験を行った。

C-2-4-2 実験の方法とその条件

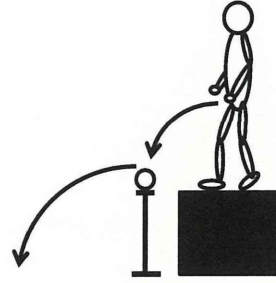
作成したモックアップを図 C-2-4-1 に示す。この写真ではスティフナの上に管が取り付けられた状態であるが、管を取り外すことでスティフナとしても実験が行える。管は内径 100mm、厚さ 6mm、スティフナの幅は 150mm である。また、スティフナの高さは 705mm ある。実験では、図 C-2-4-2 に示す次の 3 つの動作で行った。1)モックアップ上での静止状態、2)台上から足を掛けて地上に降りる動作、3)地上からモックアップに足を掛けて反対側へ乗り越える動作。被験者は艀装ブロックにおける作業員 4 名(A~D)とし、歩きやすい方法で歩いてもらった。



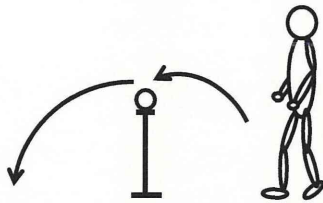
図 C-2-4-1 管（スティフナ）のモックアップの概観



動作(1) 管（スティフナ）上で静止



動作(2) 台上から足を掛けて降りる



動作(3) 地上から足を掛けて乗り越える

図 C-2-4-2 管（スティフナ）のモックアップで検討した動作

C-2-4-3 管（スティフナ）における足運び

実験によると、動作(2)、(3)では、表 C-2-4-1 に示すように、足運びは2種類あった。管（またはスティフナ）に片足のみを掛けての動作と、片足ずつ両足を乗せて一度管上（またはスティフナ上）に立つ動作である。動作(2)では片足のみを使う場合が多いが、動作(3)では両足を使う場合が多い。両足を使った動作はモックアップ上で一度止まっているため、ここでは片足のみの足運びで比較した。

表 C-2-4-1 管（スティフナ）における足運び

(a) 動作(2)

動作②	回数	管	スティフナ
被験者A	1回目	片足	両足
	2回目	片足	両足
	3回目	片足	両足
被験者B	1回目	両足	片足
	2回目	片足	片足
	3回目	片足	片足
被験者C	1回目	両足	片足
	2回目	両足	片足
	3回目	両足	両足
被験者D	1回目	片足	片足
	2回目	片足	片足
	3回目	片足	片足

(b) 動作(3)

動作③	回数	管	スティフナ
被験者A	1回目	両足	両足
	2回目	両足	両足
	3回目	両足	両足
被験者B	1回目	両足	両足
	2回目	両足	両足
	3回目	両足	両足
被験者C	1回目	両足	片足
	2回目	両足	片足
	3回目	両足	片足
被験者D	1回目	片足	片足
	2回目	片足	片足
	3回目	片足	片足

C-2-4-4 管・スティフナ上での身体バランスの特徴

(1)足底荷重の時間変化

管に足をかけた時の荷重の時間変化の例を図 C-2-4-3 に示す。ここでは管，スティフナに足が接地してから離れるまでの荷重の時間変化を示す。スティフナでは平坦路と同様に M 字型になるが，管上では踏み面が狭いため，つま先で蹴り出す動作が難しくなり，右の山が崩れて着地の際の左のピークのみが現れる。

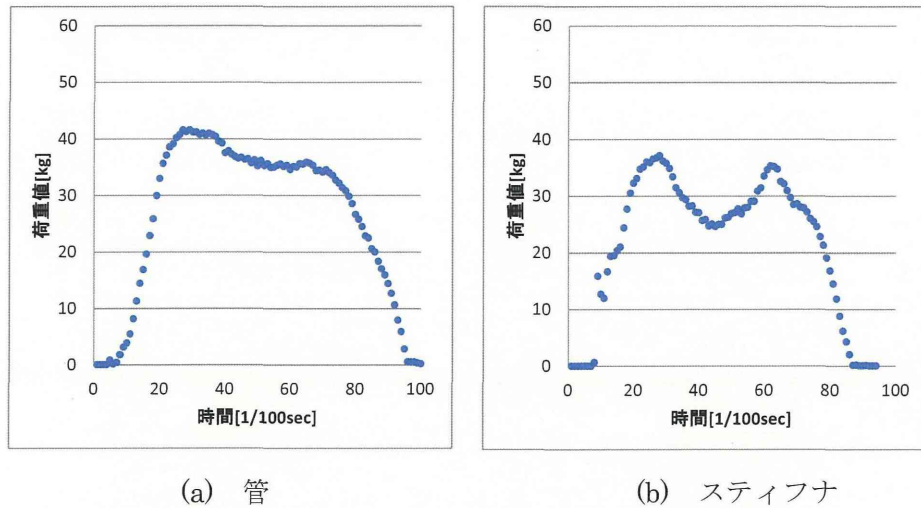


図 C-2-4-3 管・スティフナにおける足底荷重の時間変化

(2)管上における静止時の身体バランス

動作(1)における荷重分布と荷重中心位置の例を図 C-2-4-4 に示す。この図では，荷重中心は□で示す。足底長さ方向の土踏まずあたりに足圧が集中しており，荷重中心もほぼ同じ場所に位置する。管上のように踏み面が十分に確保できない足下では，土踏まずあたりを荷重中心を置いて立つ傾向があることが分かった。

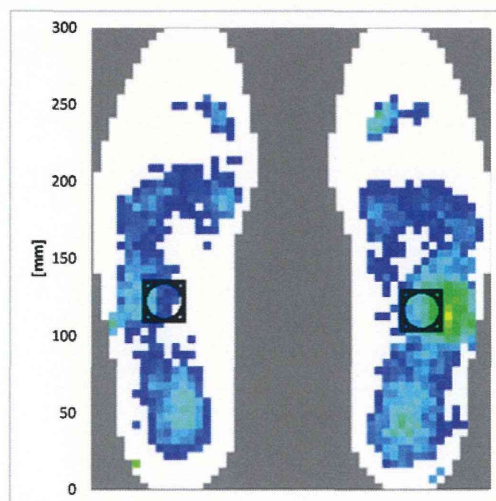


図 C-2-4-4 管上での荷重分布と荷重中心位置

(3)荷重中心の移動軌跡

管のように足裏の接地面が十分に確保できない場合、足裏に荷重をかけられる範囲が狭くなる。動作(2)について、足が管に着地してから離れるまでの荷重中心位置の軌跡を比較した例を図 C-2-4-5 に示す。スティフナでは平坦路と同様に、踵で着地し、つま先で離れるという理想的な荷重の移動が出来ている。一方、管では、踵からではなく土踏まずのあたりで着地を行っている。また、この位置は、図 C-2-4-4 で示した荷重中心の位置に近い。さらに、荷重中心の移動軌跡はスティフナに比べると短く、平坦路の約半分以下である。これより、管では足裏を十分に使った動作が難しい。

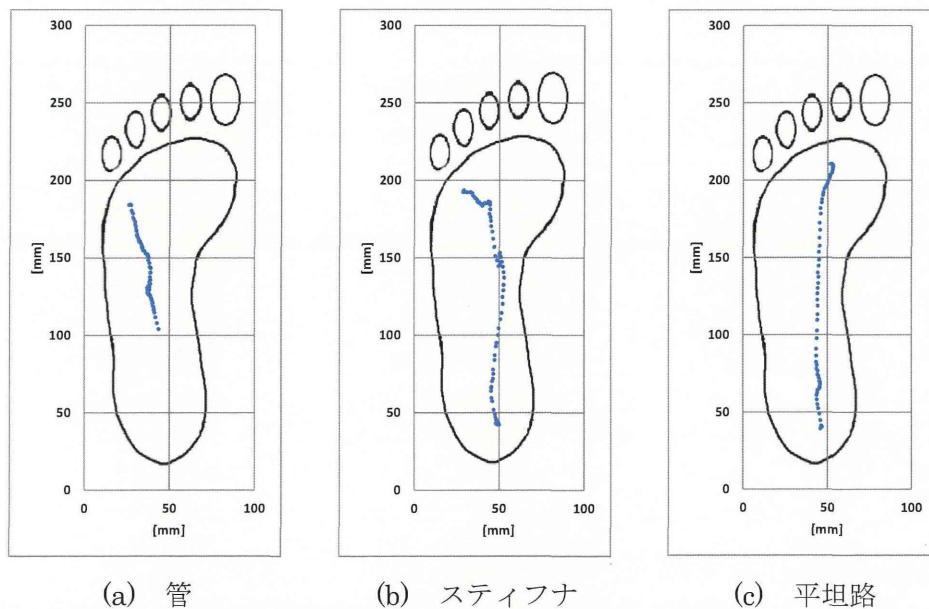
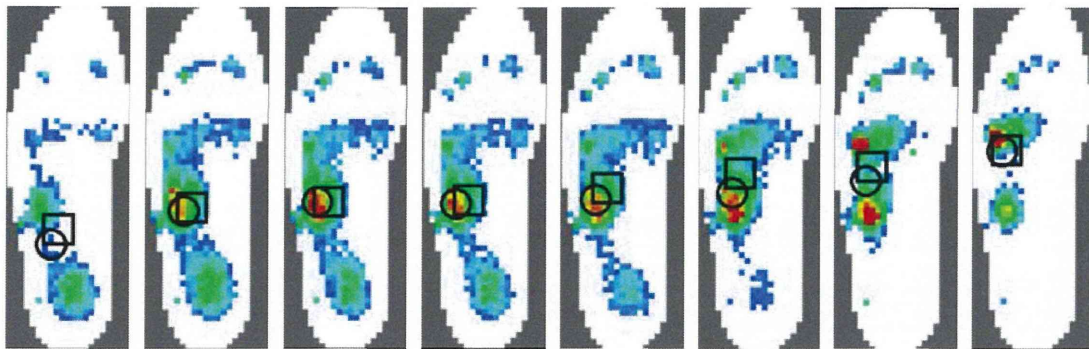


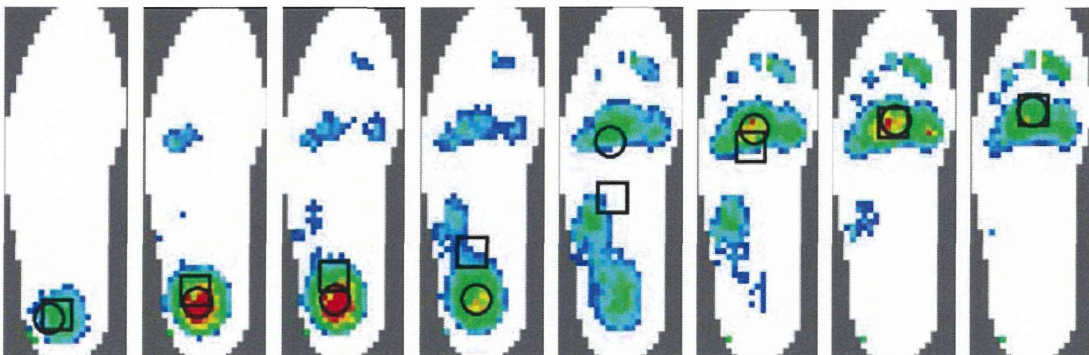
図 C-2-4-5 荷重中心の移動軌跡の比較

C-2-4-5 支持位置と荷重中心の位置関係による安全性評価

図 C-2-2-3 で示したように、歩行サイクルで Phase が進むにつれ、荷重が強くなる位置は踵側からつま先方向へ移動していく。ここでは、圧力が集中している位置を支持位置と呼び、荷重中心との位置を比較した。足が着地してから離れるまでの間の 0.1 秒毎の荷重分布を用いた。例を図 C-2-4-6 に示す。平坦路では足裏を十分に接地することができるため、支持位置と荷重中心位置が十分に離れる状態がある。一方、管では 2 点が常に近くに位置している。これは、管上では接地点のみで荷重を支えていることを表しており、支持位置周りの荷重のモーメントが小さくなり、外乱などに弱く、墜落・転落、転倒が危惧される。



(a) 管



(b) 平坦路

図 C-2-4-6 足の着地間の足圧分布の比較 (○：支持位置, □：荷重中心)

次に、支持位置と荷重中心位置の間の距離を比較した。ここでは、位置の足裏の長さ方向成分の差について、足の着地から離れるまでの平均値を用いた。図 C-2-4-7 に示すように、管では、スティフナ、平坦路に比べて距離が短い。

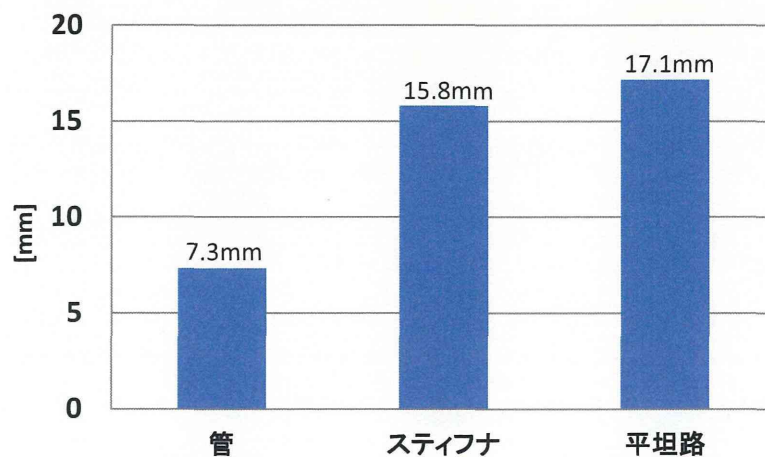


図 C-2-4-7 支持位置と荷重中心位置の距離の比較

C-2-5 階段の昇降動作の安全性評価

C-2-5-1 実験の目的

切断工場の運搬作業者は、スラットコンベアと鋼板置き場の間を移動するため階段の使用頻度が高い。また、反転艀装ブロックの現場でも、受け台に設置されたブロックと地上の移動に仮設階段が使われる。階段では転倒・躓きが危惧される。ここでは、傾斜が調節できる仮設階段を用いて歩行実験を行い、階段の昇降動作の安全性について検討した。

C-2-5-2 実験の方法とその条件

実験に用いた仮設階段は各段の段鼻間距離が一定に保たれたまま傾斜が調節できる機構を持つ。仮設階段の外観と実験の様子を図 C-2-5-1 に示す。実験では、傾斜角度 30 度、37.5 度、45 度、52.5 度、56 度と段階的に変化させ、それぞれについて上りと下りを計測した。また、手すりは使用しない。被験者は、学生 2 名、教員 1 名(A~C)とした。



図 C-2-5-1 仮設階段の概観と歩行実験の様子

C-2-5-3 上り動作の安全性評価

(1) 上り動作での姿勢

図 C-2-5-2 に示すように上り動作時の姿勢を比較した。平坦路では、背中は直立状態だが、階段では前傾し、傾斜が急になるにつれてその角度は大きくなり、平坦路と比べて身体の重心は前方に移動する。



(a) 平坦路

(b) 傾斜 30 度

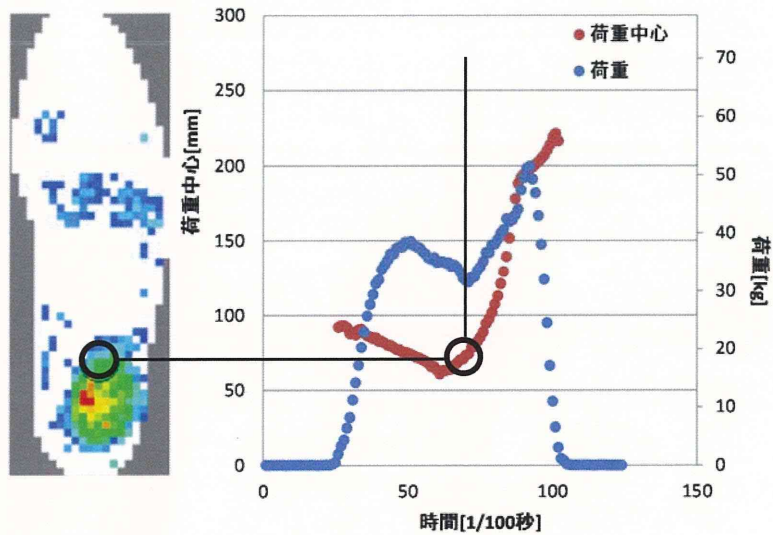
(c) 傾斜 45 度

(d) 傾斜 56 度

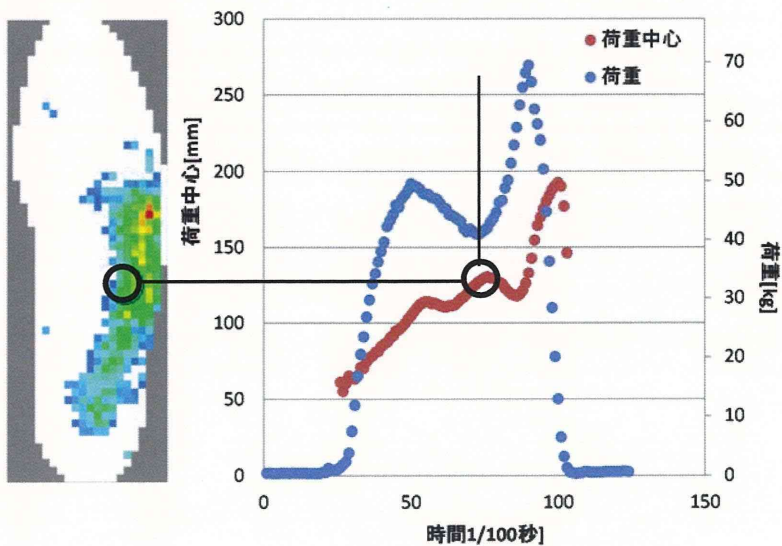
図 C-2-5-2 階段の上り動作における姿勢の変化

(2) ミッドスタンス (Phase3) における荷重中心位置による安全性評価

ここでは、階段の傾斜に伴う姿勢の変化による影響について、歩行サイクルの Phase3 に相当する片足のみで体を支えているミッドスタンス時の身体バランスを比較した。例として、傾斜 30 度と 56 度における荷重中心位置を図 C-2-5-3 に示す。荷重の時間変化においてミッドスタンスは M 字の谷に相当する。30 度では荷重中心は踵の少し前に位置しているが、56 度ではそれがつま先側方向へ移動している。



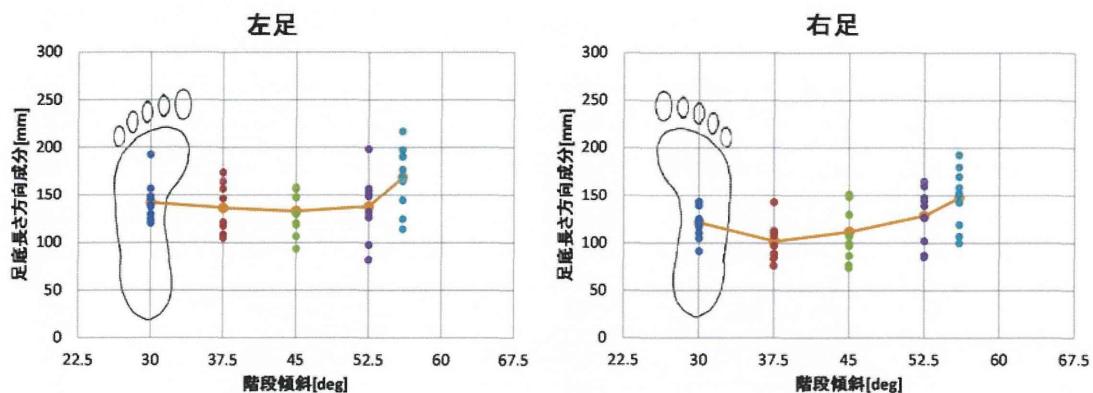
(a) 傾斜 30 度



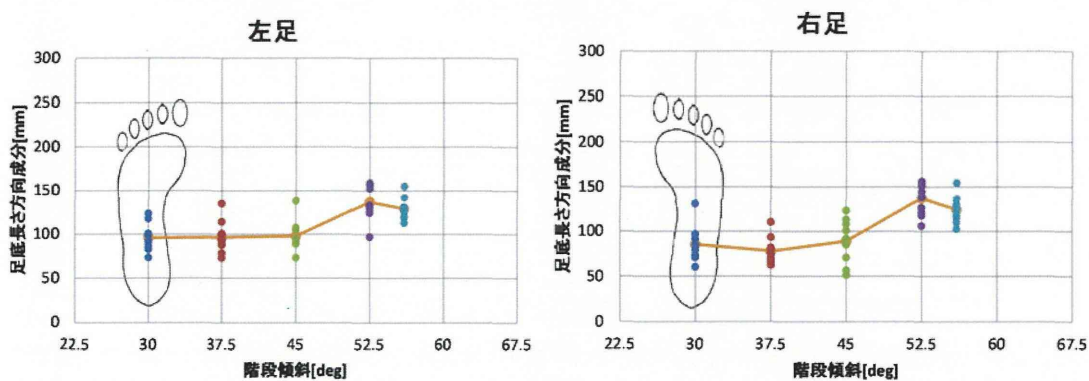
(b) 傾斜 56 度

図 C-2-5-3 ミッドスタンスの荷重中心位置の階段の傾斜角度による比較

次に、ミッドスタンスにおける荷重中心位置を傾斜角度について比較したものを図 C-2-5-4 に示す。傾斜 45 度辺りを境に荷重中心がつま先方向へ移動しており、この辺りで身体バランスが変わると考えられる。



(a) 被験者 A



(b) 被験者 B

図 C-2-5-4 ミッドスタンスにおける荷重中心位置の階段の傾斜角度による比較

(3) 支持位置と荷重中心の位置関係による安全性評価

C-2-4-5と同様に、図C-2-5-5に示すように、支持位置と荷重中心の位置の距離を傾斜角度で比較した。左足では、45度を境に大きく減少しており、ここでも、このあたりに身体バランスが変化する境界があると考えられる。

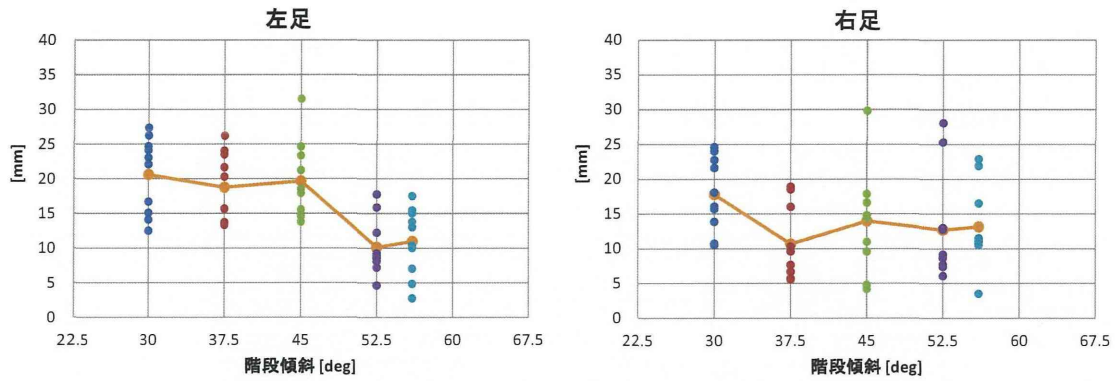


図 C-2-5-5 支持位置と荷重中心位置の距離の階段の傾斜角度による比較（上り）

C-2-5-4 下り動作の安全性評価

(1) 蹴り出し (Phase4) における荷重値による安全性評価

この階段では、傾斜角度が大きくなると一段あたりの水平方向の前進距離が小さくなる。ここでは、つま先で蹴り出す時 (Phase4) の荷重値を比較した。30度と56度での荷重値を比較した例を図C-2-5-6に示す。この図において、蹴り出しはM字の右の山に相当する。30度に比べて56度では蹴り出しに相当する山が崩れ、小さい。これは、傾斜が急になると一歩で踏み出す距離が短いため、蹴り出す荷重も小さくなることを表していると考えられる。荷重値が小さいと床面にかけられる摩擦力が減少し、もし外乱があった場合に身体バランスを保てないことが危惧される。

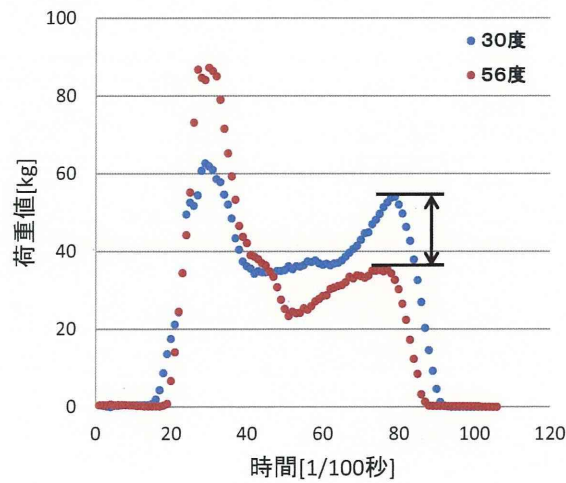
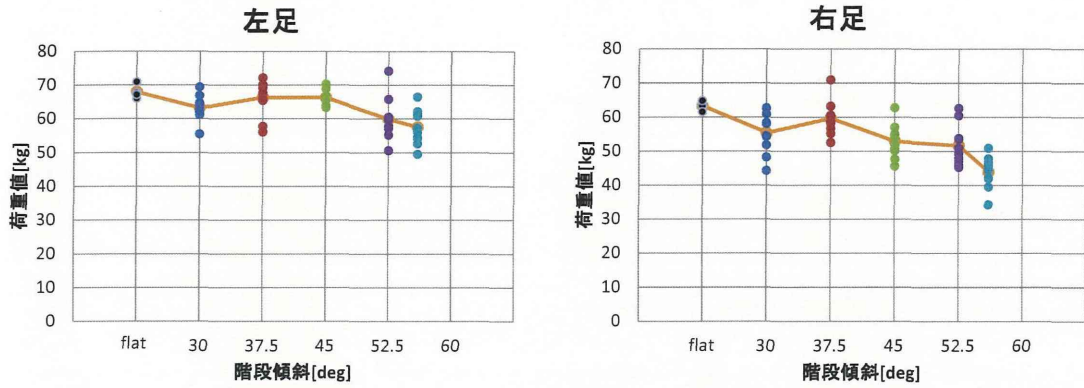
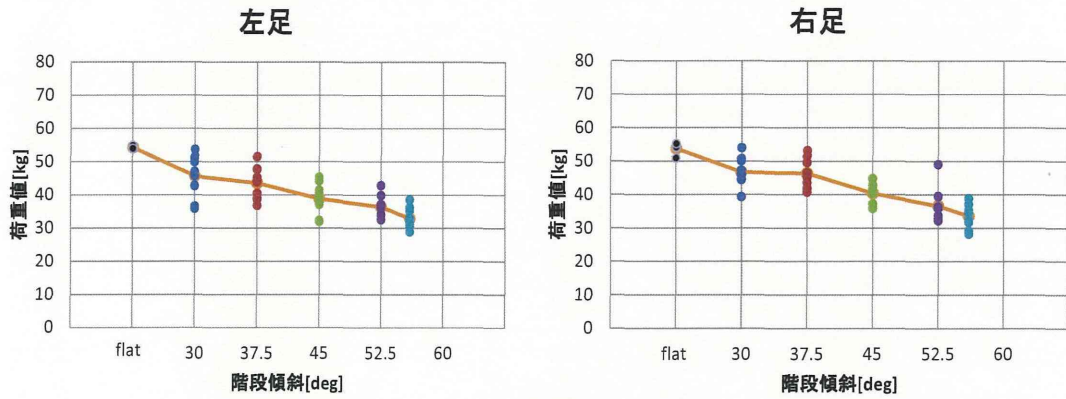


図 C-2-5-6 つま先が蹴り出す時の荷重値の階段の傾斜角度による比較 (下り, 左足)

次に、図 C-2-5-7 に示すように傾斜で比較した。傾斜 45 度辺りを境に荷重値が大きく減少しており、この辺りに身体バランスが変わる境界があると考えられる。



(a)被験者 A



(b)被験者 B

図 C-2-5-7 蹴り出し時の荷重値の階段の傾斜角度による比較

C-2-6 傾斜路の歩行の安全性評価

C-2-6-1 実験の目的

一般に造船所では、船体ブロックの斜面を持つ外板上で作業を行うこともある。傾斜面でも転倒や躓きが危惧される。ここでは、傾斜路で歩行実験を行い、傾斜面における歩行の安全性を検討した。

C-2-6-2 実験の方法とその条件

傾斜角 15 度の傾斜路において上りと下りの歩行を行った。被験者は、学生 2 名、教員 1 名(A~C)とした。

C-2-6-3 支持位置と荷重中心の位置関係による安全性評価

C-2-4-5 と同様に、図 C-2-6-1 に示すように支持位置と荷重中心の位置の距離を傾斜角度で比較した。上りは平坦路での歩行に比べて小さくなり、身体バランスを崩しやすいと考えられる。被験者へのインタビューによると、傾斜路では着地時の足とインナーソールのすべりが強いとの感想が多いことから、傾斜路の評価には足底に働くせん断力も考慮した評価が有用であると考えられる。

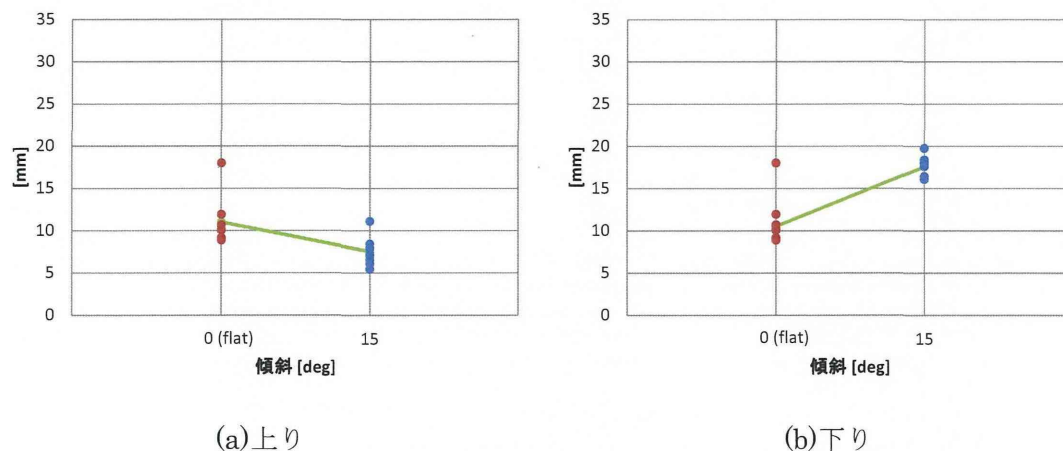


図 C-2-6-1 支持位置と荷重中心位置の距離の傾斜路における比較 (左足)

D. 考察

(1) リスクアセスメントシステム

今年度は昨年度に引き続き実際の造船所への現場の適用例を増やすことにより、課題点の抽出と改良を図った。作業・安全のためのリスクアセスメントについて、労働安全上の危害となりうるハザードの同定から、PDA 作業・安全観測ツールを造船所の実際の現場での適用性への改善や、リスクアセスメント手順書の整備によりリスクアセスメントの定型化について検討を行った。主な適用工程としては、造船所の鋼材切断工場での鋼板切断工程と、外業での艀装工程について、複数の造船所において実施して、以下を確認した。

- ・ 従来でも造船所の現場では、言葉による評価から定性的なリスクアセスメントについて検討がなされていたが、本方法である PDA 作業・安全観測ツールによる作業や安全の定量化が可能で有り「見える化」には有効なツールとして現場でのニーズも高いことが分かった。
- ・ 得られた観測データについて集計方法の検討を行った。要素作業と不安全状態の関連分析や、不安全状態での要因の同定について検討を行い、安全上の課題を抽出する際に有効な方法であることを確認した。
- ・ 要素作業について過去の災害発生状況や災害の起こりやすさを定量化するために、災害ポテンシャルの定義を行い、適用工程での各要素作業について試算した。これにより災害が危惧される対策を取るべき対象の順位付けについて検討を行い、その有効性を確認した。
- ・ 災害が危惧される要素作業について、ハザード・対策展開法による対策の立案方法の検討を行い、ハザードに着目した対策の立案への有効性を確認した。

(2) 計測に基づく歩行路環境の評価方法の検討

計測に基づく安全歩行の評価方法の検討として、造船所内において各種の想定される歩行路環境について検討を行うため、スラットコンベヤ上の歩行の検討に加え、傾斜角度の異なる階段上の歩行や勾配のある歩行路、さらに管やスティフナー上での歩行についてモックアップを作成して、歩行足圧センサーを用いた計測による検討を行い、以下を確認した。

- ・ 歩行の際に足裏に現れる荷重中心の移動軌跡について、安定な歩行路環境である平坦路上の歩行と各歩行路環境との比較を行い、身体バランスの変化に与える影響を評価することにより安全性評価の検討を行った。
- ・ 各歩行路環境において、条件値として勾配等を変えることにより、身体バランスの変化に与える影響の限界値について算定を行った。
- ・ 歩行路環境の実験結果に基づき、通常に行われる作業の足下環境の危惧度について、足下環境に暴露される時間を評価するためにハザード指数の定義を行い、暴露による累積値の傾きと平坦路での足下環境との比較から、危惧度について検討を行い、有効性を確認した。
- ・ 上述の計測に基づく歩行路環境の評価法の検討から、作業の有するリスクについて作業

環境からもアセスメントの定量化について検討を進められることを確認した。

E. 結言

本研究では、作業・安全の向上ためのリスクアセスメントのシステム構築を行い、PDA 作業・安全観測ツールを造船所現場での運用性を高める改善や、リスクアセスメント手順書の整備によりリスクアセスメントの定型化から整備を行い、安全対策案を立案する手助けとなるハザード・対策展開法による対策の立案を提案してきている。これらを基にして作業安全のためのリスクアセスメントを実際の複数の造船所において試験的な運用を行い手法の有効性を確認した。さらに、作業をする際の体を支える作業場所の環境評価や歩行路の評価として、モックアップ実験や実際での造船所での計測を行い、これらの安全性の評価の検討を行い、提案する計測に基づく作業場所や歩行路環境の評価法から、作業の有するリスクについて作業環境からもアセスメントの定量化について検討を進められることを確認した。

以上より、リスクアセスメントから対策の検討までを一貫して行い、提案したリスクアセスメント方法の有効性を確認した。

F. 健康危険情報

該当なし。

G. 研究発表

学会発表

1) 篠田 岳思, 田中 太氏, 西口 純平,造船工場の作業・安全モニタリングのための画像処理による観測に関する研究,日本船舶海洋工学会春季講演会,2013.05, 広島県広島市

2) 竹内淳, 篠田岳思, 岩永俊哉, 造船所における暑熱環境下作業での人体蓄熱に関する研究ー溶接輻射熱の人体蓄熱への影響ー, 日本船舶海洋工学会春季講演会,2013.05, 広島県広島市

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

II. 研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
田中 太氏, 篠田 岳思, 西口 純平	造船工場の作業・安全 モニタリングのための 画像処理による観測に 関する研究	日本船舶海洋 工学会講演会 論文集	第15号	569-570	2013
竹内淳, 篠田岳 思, 岩永俊哉	造船所における暑熱環 境下作業での人体蓄熱 に関する研究—溶接輻 射熱の人体蓄熱への影 響—	日本船舶海洋 工学会講演会 論文集	第15号	567-568	2013

Ⅲ. 研究成果の刊行物・別刷