

2009年 6月 2日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008年度

課題番号：19510169

研究課題名（和文）

建設作業現場における安全性確保に関する研究

研究課題名（英文）

A Study on Preventing Injury in Construction Sites

研究代表者

守 明子（MORI AKIKO）

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：00314071

研究成果の概要：

外足場を想定し、身体装着可能な小型の三次元加速度計を用いた階段昇降実験を行った。得られた加速度波形を対象にフラクタル解析とスペクトル解析とを行い、加速度の絶対値・フラクタル次元・ゆらぎ値を用いて墜落の主要因と考えられる人体の不安定さを客観的な物理量として定量化するとともに、実験と同時に行った感性評価による主観的データをも鑑みながら、回避すべき行為の特定、ならびに作業環境の評価手法を提案した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 社会システム工学・安全システム

キーワード：安全工学・建設・作業現場・足場階段昇降

1. 研究開始当初の背景

近年、各種法制度の整備もあり労働災害件数は減少傾向から横ばい傾向に移行しつつある。しかしながら、建設作業現場（以下、現場と記す）における人手不足や作業者の高齢化、受注競争の熾烈化などから、産業分野別の発生割合をみると建設業が未だに上位に位置しており、現場における労働災害発生は未だにあとを絶たない。たしかに、建設機械や IT 情報技術の導入により作業者の労働

量が軽減化されたことは否めない事実ではあるが、そこでは労働生産性の向上、品質の確保、工程やコストの管理などが主な課題とされ、作業者が各種作業行為について苦渋感や疲労感などを含めてどのような印象をもって建築生産に携わっているかなどの、作業者を中心に据えた感性に関する観点にたった事項に対してはさほど注目されてこなかったことも事実である。したがって、作業者を苦渋労働から解放することを通して現場

における作業安全性を確保するためには、作業員（人間）を中心とした作業環境の評価体系が必要である。

従来、施工現場作業に関する研究は種々実施されているが、作業効率を目的としたものが大半で、しかも、心拍数やエネルギー消費量、疲労などのヒューマファクターを評価項目としており、作業員の感性にかかわる事項は、その研究項目としては挙げられてはいない。

一方、階段における各種安全性確保を目的とする研究報告も多々あるが、それらの多くは室内または街路空間におけるものであり、その評価方法は感性評価、床反力測定やカメラ撮影による足の運び方の軌跡測定、踏面を踏む際の踏面と足との角度測定等であり、これらは本研究における研究対象ならびに加速度計による評価手法とは異なる。

2. 研究の目的

ここでは、被験者の身体を拘束しない小型で身体装着可能な三次元加速度計を用いて作業員の各種行為を対象に、加速度波形の解析により得られる物理量と作業員の感性評価という心理量との組み合わせによって作業員（人間）と現場（空間）との力学的相互作用を科学的に評価する手法を開発する。この評価手法の開発を踏まえて、現場における安全性を重視した作業員の適切な作業環境の実現と環境改善の方向性を探る。

3. 研究の方法

まず、作業現場における安全性確保に関する諸規制の調査を実施する。すなわち、作業現場における施工行為は、労働安全衛生法などの法律により規制されているものから、その範疇外ではあるが、各企業により個別対応しているものもあるので、現場における安全性確保の観点からどのような条文や規定があるかについて、作業員へのヒヤリング調査を含めた資料調査を実施する。その結果に基づき、施工行為の抽出と類型化を行う。続いて作業現場において頻度が高い、または危険度が高いと思われる行為について、ウェアラブルな超小型加速度計を用いた力学的相互作用の測定方法および解析技術の基本的な

検討を行ない、力学的相互作用に関する測定方法の基礎を確立する。併せて、加速度計により得られる物理量と対をなす感性評価項目の設定と適切化を試みる。

続いて、得られた成果に基本的に基づきつつ、限界値を明確にする行為をも含めて加速度測定の調査対象とする行為を確定し、力学的相互作用の抽出方法を確立する。また、実験に先立つ予備実験から、実験場所の選定を含む各実験条件の設定を行なう。さらに、被験者に加速度計を装着した実験と感性評価とを行なう。

得られた結果から、現場における作業環境の評価手法を提案し、その有用性の検証を行う。

4. 研究成果

4.1 文献調査に基づく災害発生の概要

労働災害は全産業分野において長期的には減少傾向にあるが未だに年間 54 万人以上が新たな労災保険の受給者となっている。また、近年、建設業における総事業費が急激に低下していること、作業員の高齢化による担い手の減少とともに技術継承の困難さが発生していること、賃金を含む勤務体制や作業環境などによる雇用労働条件の劣悪さなど、建設業を取巻く社会環境には厳しいものがある。そのためか、建設分野の占める死亡災害の割合は全産業分野の約 1/3 を占めており、中でも確実な墜落防止器具の整備が困難である場所からの墜落によるものが 37.4% も占めている。この数字には大きな変化は認められず、建設業が相変わらず危険作業を伴う産業分野であることに変わりはない。したがって、本研究では施工現場における外足場階段を対象とし、安全性確保の観点からみた作業環境の実態把握を行うこととする。

4.2 文献調査に基づく足場階段の現状

調査対象資料は、論文 8 件、書籍 4 件、足場の製品カタログ 2 件、建築工事標準仕様書（JASS）、労働安全衛生規則、建築基準法施行令、建設業附属寄宿舎規程、事務所附属寄宿舎規定とした。調査対象は重点的に階段幅・踏面・蹴上・勾配・手摺の有無の 6 項目

とした。

その結果、何れの調査項目においても使用目的により異なることがわかった。すなわち、使用目的が施工現場を想定したものであるか、快適性を優先するものであるかにより異なり、前者の階段のほうが狭隘、且つ勾配が急であり、現場作業者にとっての身体的負担は大きいことが推察された。

4.3 実験

調査から、建設分野における災害発生要因は「転落・墜落」が今日においても最多であること、その内訳をみると法規制にもかかわらず物理的対策を取りにくい「窓・階段・開口部・床の端から」「屋根・屋上から」「足場から」の上位3位で全体の約4割を占めていることなどが判明した。そこで、今年度は施工行為のうち不可欠であり、且つ転落事故が多く発生している階段昇降を対象とした実験を行うこととした。

4.3.1 測定機器の選定

測定に際しては被験者の精神的・肉体的負担を可能な限り小さくするという観点から選定することとした。測定機器本体は加速度センサーとデータロガーとから構成されるが、実際の測定に際しては両者の接続使用を前提としたため、実験に際しては市販製品の一部を特注加工としたものとした。なお、本研究における測定可能範囲・操作の簡便性・データの解析難易度などなどの観点からそれぞれの機器について各社の製品を比較検討し、決定した。

4.3.2 予備実験による条件設定

本研究では足場階段における昇降行為を測定対象とし、同一階段で移動速度を変化させる実験(シリーズ1)、ならびに移動速度を一定とし蹴上げ寸法を変化させた実験(シリーズ2)とを行なう。

実験に先立ち、測定場所を含めた実験条件の設定のための予備実験を感性評価を含めて行った。

測定場所について：

本来ならば実際の足場階段とすべきであるが、被験者の安全を期するために、前項

「4.2」に記した各資料に記された推奨値や使用目的などに鑑み、名古屋工業大学構内にある各校舎に付随した外階段12箇所を対象に寸法調査などを行い、得られた結果から以下に示す階段一ヶ所を選定した。

階段幅；900mm以上

手摺；有 左右同一高さ 900mm以上

段数；7・8段以上

踏面；鋼材 215～280mm

蹴上；150～230mm

直射日光；照射なし

人の往来；少ない

踏面・蹴上・蹴込の寸法差；10mm以下

昇降速度について：

被験者に「はやく」「普通」「遅く」を口頭指示し、被験者が考える任意の速度で3回の昇降を繰り返した。速度はストライド時間で表示し、0.7から1.6秒の0.1秒刻みとした。

4.3.3 本実験

実験は移動速度変化による昇降実験(シリーズ1)、ならびに同速度を一定とし蹴上げ寸法を変化させたそれ(シリーズ2)とから成る。

被験者は男性1名(24歳・身長178cm・体重58kg・利き足：左)とし、階段の測定段数は11とした。加速度の測定には加速度計(M社製)およびデータロガー(K社製)を用い、加速度計の装着部位は被験者の臍部(以下、腹部と記す)・左膝関節部外側(以下、膝と記す)・左外果(以下、足首と記す)の計3箇所とした。データロガーは被験者が背負うリュックに内蔵し、サンプリング周波数は1000Hzとした、3軸の各方向はX軸：前後方向、Y軸：左右方向、Z軸：上下方向とそれぞれ定めた。

シリーズ1における実験順序は移動速度を0.52 0.89 0.52 0.39 0.52 m/s(ストライド時間表示では1.2 0.7 1.2 1.6 1.2s)とし、シリーズ2においては移動速度0.52m/s(同1.2s)一定とし、蹴上寸法の変化には板厚5.5, 15.0, 30.0, 50.0mmの合板を用い、階段接地面から1～5段目に固定した。4つの形容詞対からなる感性評価は、実験に

先立つ 2 秒間の停止後，昇降を開始し，所定の 11 段を移動の後に行う。

以上の測定を各測定条件および昇降毎に 3 回行い，この平均値を結果とする。

4.3.4 解析

加速度波形の最大値と最小値との差の絶対値を「加速度の振幅」とすると，加速度の振幅は動作中に身体に掛かる力を表現することになる。また，フラクタル次元は身体の安定性を，ゆらぎ値は動作の変化度を示し，何れの値も動作の評価に用いられる。

・フラクタル次元の算出

フラクタル次元（以下，次元と記す）の算出に先立ち，実験により得られた加速度波形に対してノイズの除去を行う。ここではデータが時系列であることから，Donoho らが提案したウェーブレットによる soft-thresholding を用いた。ノイズ除去後の加速度波形から Higuchi 法を用いて次元を算出した。Higuchi 法を用いた理由はデータ数に関係なく時系列データから次元を算出することが出来るためである。ここで次元の取り得る値は 1.0~2.0 であり，2.0 に近いほど身体の不安定さが増すことになる。

・スペクトル解析（ゆらぎ値の算出）

得られた加速度波形に対して高速フーリエ変換を行い，パワースペクトルを得る。これと周波数とを対数表示し，その 2 物性の関係を最小二乗法により直線に回帰させ，その傾き（以下，ゆらぎ値と記す）を求める。ゆらぎ値のとり得る値は - ~ + である。そこで表示には絶対値を用いると，0 に近いほど変化が急激でありその予測が困難であることを示している。

・感性評価

感性評価には SD 法を用い，使用した形容詞対は「危険 - 安全」，「昇降しにくい - 昇降し易い」，「負担が大きい - 負担が小さい」の 3 つであり，5 段階評価とした。

4.3.5 実験結果

4.3.5.1 移動速度による影響（シリーズ 1）

加速度の振幅の最大は作用点である足首（ankle）において得られ，続いて膝（knee）腹部（body）の順であった。腹部では，前

後（X）・左右方向（Y）においては移動速度と昇降による差異は認められないが，上下方向（Z）においては昇降による差が若干認められ，降りの方が大きい。但し最大でも 11m/s^2 に留まった。膝では，左右・上下方向においては昇りより降りの方が大きい，前後方向では昇降による差は明確ではなくなっている。軸方向による差は概ね左右 上下 前後となり，移動速度による差は腹部において得られた結果よりも顕著であった。但し，振幅の最大は前後方向の [移動速度 0.89m/s]・[昇り]において 28m/s^2 が得られた。足首では，何れの軸方向および移動速度において装着部位の中で最も大きく，その最大は[移動速度 0.89m/s]・[昇り]・前後方向の 61m/s^2 であった。また，移動速度による振幅の差も軸方向によるそれも装着部位の中では最も顕著であり，特に昇りでは左右方向の移動速度による差は 42m/s^2 にも達した。これは足首が階段昇降における作用点であるが故の結果と考えられる。また，移動速度が大きい程，振幅は大きくなる。これは移動速度が大きくなると，加速度計装着部位には大きな力が作用し，階段の駆足昇降に際しては身体左右のバランスを失いやすく転倒の可能性が増大することを示唆している。

フラクタル次元（身体の不安定さの指標）と加速度計装着部位および軸との関係について記す。まず，腹部（body）においては概ね左右方向（Y）での次元が他の軸よりも大きく，昇りよりも降りの方が概ね大きいことから，身体の不安定さは降りにおいて顕著であることになる。但し，ここでの次元は 1.2 以下である。次に膝（knee）においては，腹部と同様に概ね左右方向での次元が他の軸よりも大きく，昇りよりも降りの方が概ね大きい。但し次元の最大は [移動速度 0.52m/s]・[降り]で 1.3 が得られた。最後に足首（ankle）においては左右方向において最大の次元が得られること，昇りよりも降りの方の次元が大きいこと，ならびに移動速度の大きいほうが次元も上昇するという傾向は他の装着部位と同様であるが，次元の最大が 1.5 にも達し，階段における駆足昇降の危険性が改めて確認される結果となった。

ゆらぎ値（動作の変化度の指標）と加速度

計装着部位および軸との関係について記す。装着部位の差は腹部 (body) 膝 (knee) 足首 (ankle) であり、加速度の振幅およびフラクタル次元とは異なる。まず、腹部において降りの方が概ね大きい。左右方向 (Y) は他の軸よりも小さく、最小は [移動速度 0.39m/s]・[昇り] で 1.8 が得られた。ちなみに昇りにおいて 0.39m/s の時に全ての方向で最も小さく、0.89m/s の時に最も大きい。これは緩慢な移動速度に対して、無意識ではあれ重心である腹部においてその速度を調整しながら階段を昇ったためと思われる。膝においては降りの方が大きく、さらに降りでは左右方向が、昇りでは上下方向 (Z) がそれぞれ大きい。最後に、足首においては昇りの方が大きい。また、[移動速度 0.89m/s]・[昇り]、[移動速度 0.78m/s]・[昇り] を除き左右方向が大きく最大は [移動速度 0.62m/s]・[昇り] で 4.0 が得られた。したがって、昇りにおいて作用部である足首は規則正しい動作をし、危険性が低くなる一方で、重心である腹部では不規則な動きをし、バランスを失い易い状態にある。これは緩慢な移動速度において起こり易く、不自然に緩慢な速度による階段昇降も身体の安定性を保持するには好ましくないことになる。

感性評価については、形容詞対のうち「昇降し易い-昇降しにくい」を例として移動速度との関係を記すと、昇りの場合、0.45 ~ 0.69m/s の評価点は比較的高いが、それ以外の移動速度では低い。一方、降りの場合、昇りと同様ではあるものの、高い評価点が得られる移動速度の範囲が 0.48 ~ 0.69m/s であり、その範囲が狭くなっている。なお、他の形容詞対においても同様であった。

4.3.5.2 蹴上げ寸法による影響 (シリーズ2)

加速度の振幅と板厚・設置段・昇降・装着部位および軸との間には顕著な関係を見出すことは出来なかった。これはフラクタル次元・ゆらぎ値においても同様であり、本研究程度の蹴上寸法を変化させても身体の安定性には顕著な影響がないことになる。

但し感性評価においては、さほど顕著ではないものの、板厚が 30mm 未満では精神的負

担の増加はなさそうであり、行為者が蹴上の差に慣れるまでの 2~3 段目までは板厚による負担が若干あるようである。ただし、この傾向は他の形容詞対・昇降においては認められないことから、本実験程度の蹴上寸法差では精神的影響は皆無であることになる。

4.3.6 安全性確保のための身体負担評価式の提案

階段昇降に対する身体的負担を評価するための式を提案する。

ここでは、行為者の身体的負担を物理量としての振幅・フラクタル次元・ゆらぎ値の総和として捉え、装着部位および軸毎に式 1 に示すように計算し、その総和を「身体への負担度」(S) とする。ちなみに S の取り得る値は 0~3 であり、3 に近い程、身体への負担が大きく、その行為は避けるべきであることになる。

$$S = \frac{(Ac - Ac_{min})}{(Ac_{max} - Ac_{min})} + \frac{(D - D_{min})}{(D_{max} - D_{min})} + \frac{(F_{max} - F)}{(F_{max} - F_{min})} \quad \dots (1)$$

ここで、S: 身体への負担度

Ac: 振幅

Ac_{max}: 得られた振幅の最大値

Ac_{min}: 得られた振幅の最小値

D: フラクタル次元

D_{max}: 得られたフラクタル次元の最大値

D_{min}: 得られたフラクタル次元の最小値

F: ゆらぎ値

F_{max}: 得られたゆらぎ値の最大値

F_{min}: 得られたゆらぎ値の最小値

まず、シリーズ1における「腹部 - 上下(Z)」を例に昇降をパラメータとして S と移動速度との関係をみるに、凡そ移動速度が増加すると S も増加するが、降りの方が大きい。これらの結果は感性評価のそれと合致している。したがって、階段の昇降においては適切な移動速度の存在が示唆される。同様に、シリーズ2における「腹部-上下(Z)」を例に S と設置段との関係をみるに、板厚、昇降の何れにも特段の関係や傾向は認められなかった。しかし、板厚と S との関係 (腹部上下方向・設置段 4 段目) をみるに、昇りにおいて板厚 15.0mm で 2.2 とその値は突出して大きく、降りにおいては蹴上寸法差が増加すると S も増加する傾向がみられる。降りにおけるそれは他の設置段においても同様にみられ、特に設

置段4,5段目においては顕著であった。

ここで、試みに「S 1.5ではその動作が危険である」と仮定した場合、シリーズ1において該当するのは昇降ともに移動速度0.89m/sである。また、シリーズ2においては「降り・設置段1,2段・板厚30.0mm」,「降り・設置段4,5段・板厚15.0mm」,ならびに「昇り・設置段3,4段・板厚50.0mm」が該当する。すなわち、駆け足昇降や蹴上寸法差が30.0mm以上である場合には、転倒などの危険性が示唆され、このような状態や行動は避けるべきであることになる。

したがって、提案式に基づく施工現場において階段昇降を行なうに際し、身体負担軽減の観点からみた安全性確保の評価手法としての可能性を窺うことができる。

4.3.7 実験結果のまとめ

施工現場における外足場階段昇降時の安全性確保を目的として、装着可能な小型の三次元加速度計を被験者の腹部・膝・足首に装着した実験を行った。得られた結果は以下の通りである。

- 1) 加速度の振幅およびフラクタル次元、ゆらぎ値は作用点である足首で最大であった。
- 2) 階段昇降に際しては適切な移動速度がある。
- 3) 蹴上寸法差による身体負担は、移動速度によるそれよりも小さい。

加速度の振幅・フラクタル次元・ゆらぎ値の総和による身体負担の評価式を提案し、その有用性を確認した。今後、この研究を実際の施工現場へ生かすためには、被験者の属性を多様化しつつ、施工現場における各種行為に関するデータの蓄積が必要である。

4.4 今後の課題

ここで提案した施工現場における安全性確保のための評価手法の有効性を確認するためには、階段昇降のみならず、他の各種施工行為についての同様な実験を行うことが必要である。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計6件 内3件は発表予定)

- 1) 朝稲渉・守明子：施工行為における力学環境評価手法に関する研究 その2 荷物の上げ下ろし作業における姿勢角度およびエネルギー消費量の試算，日本建築学会大会学術講演会，2007年9月，福岡大学
- 2) 岩田菜美子・守明子・渡部嗣道：施工行為における力学環境評価手法に関する研究 その6 階段昇降に関する実験条件の決定，日本建築学会東海支部研究発表会，2009年2月14日，ぎふじゅうろくプラザ
- 3) 岩田菜美子・守明子・渡部嗣道：施工行為における力学環境評価手法に関する研究 その7 速度変化による階段昇降に関する実験，日本建築学会東海支部研究発表会，2009年2月14日，ぎふじゅうろくプラザ
- 4) 植山裕之・守明子・岩田菜美子・朝稲渉・渡部嗣道：施工行為における力学環境評価手法に関する研究 その3 階段昇降に関する実験条件の設定，日本建築学会大会学術講演会，2009年8月29日，東北学院大学
- 5) 渡部嗣道・守明子・岩田菜美子・朝稲渉：施工行為における力学環境評価手法に関する研究 その4 階段昇降に関する実験結果，日本建築学会大会学術講演会，2009年8月29日，東北学院大学
- 6) 守明子・岩田菜美子・朝稲渉・渡部嗣道：施工行為における力学環境評価手法に関する研究 その5 階段昇降における身体負担の評価式の提案，日本建築学会大会学術講演会，2009年8月29日，東北学院大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

守 明子 (MORI AKIKO)
名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：00314071

(2) 研究分担者 (2007年度)

河原利江 (KAWAHARA RIE)
金城学院大学・生活環境部・講師
研究者番号：80346577

(3) 連携研究者 (2008年度)

河原利江 (KAWAHARA RIE)
金城学院大学・生活環境部・講師
研究者番号：80346577