

4. 建設工事における高所作業に関する人間工学的研究*

江川義之** , 臼井伸之介*** , 庄司卓郎** , 中村隆宏**

4. Ergonomics Study on High-Rise Working Conditions in Construction Sites.*

by Yoshiyuki EGAWA**, Shin-nosuke USUI***, Takuro SHOJI**,
and Takahiro NAKAMURA**

Abstract : The number of deaths in industrial construction accidents was 644 in 2001. The largest cause was falls, killing 262 workers and constituting 40.7% of all deaths. Fall accidents have constituted around 40% over the last 10 years, and the number is not declining.

Based on these conditions, ergonomics study on the safety of high-rise working conditions to prevent the falls of workers was conducted. This study consists of two parts. The first part is fatal accidents analysis in the past years and the second is the result of experiments on work load at high-rise working conditions.

<Fatal fall accidents analysis>

The investigation was performed on fatal fall accident reports. At this situation, 200 case reports for building construction and wooden construction of those workers aged over 50 and those aged under 40 were selected as the objects of this study. Compared to building construction, the workers with longer experience fell to their death more in wooden constructions. Especially, for the workers under 40, the workers had an average of 4 years experience in building construction, and the other hand, for workers of 50 or over, the workers had an average of 30 years experience in wooden constructions. In building construction, the falls occurred during movement on the scaffoldings, on the other hand, the accidents occurred often during working in the wooden constructions.

<Experiment>

The experiment on work load at high-rise working conditions was conducted with 16 subjects. These subjects those were 7 elderly workers and 9 younger workers were walking and carrying the boards on scaffolding. Walking speed, step distance and foot stroke time were recorded by video camera. Heart rates on physiological working load and mental capacity on psychological working load were measured. At the result of this experiment, it was cleared that the high-rise condition of working with the difficult behaviors for elderly workers had increased physiological and psychological working load.

Keywords ; Ergonomics study, High-rise working condition, Construction site, Building construction,
Wooden construction

* 平成14年6月 日本人間工学会第43回大会, 平成14年10月 産業・組織心理学会第18回大会において本研究の一部を発表した。

** 境界領域・人間科学安全研究グループ Interdisciplinary and Human Science Safety Research Group.

*** 大阪大学大学院人間科学研究科 Graduate School of Human Sciences Osaka University.

1. はじめに

建設業労働災害死亡者数は昭和48年頃から減少し始め平成14年は607人¹⁾までになった(昭和48年は2440人)。しかし全産業死亡者数も減少してきているので建設業死亡者数を全産業に対する比率で示すと10年間変化していない²⁾。

さらに建設業労働災害死亡者数の全産業に占める比率を他産業のそれと比較すると、たとえば製造業がここ10年間に18%前後の比率であるのに対して、建設業は42%前後で、約2倍強の比率を占めている。

建設業死亡災害の中で最も多いのが墜落による災害であり、平成13年は262人³⁾で40.7%を占めている。さらに墜落死亡災害は平成元年からの13年間40%前後の比率(37.4%~43.2%)を占めており減少の傾向は示していない。

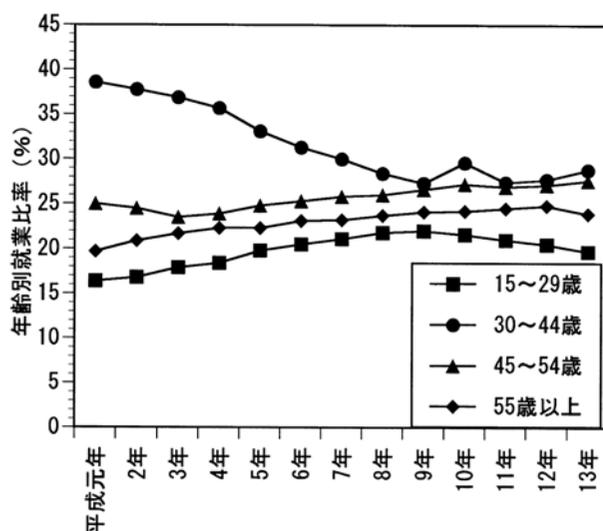


Fig.1 Proportion of working age in construction
建設業における年齢別就業比率

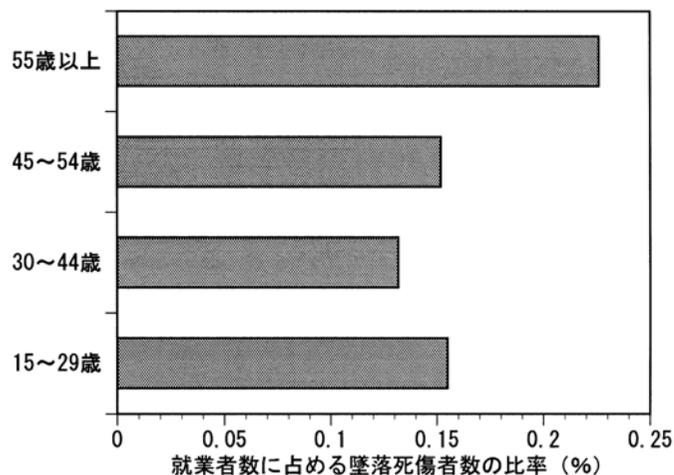


Fig.2 Proportion of falling casualties
in construction workers
就業者数に占める墜落死傷者数の比率

建設業における特徴として高齢作業者の増加が挙げられる。そこで平成元年から13年までの年齢階級別就業者数の推移を調べた³⁾。

Fig.1によると建設業における年齢階級別就業比率は、15~29歳は平成9年をピークとして減少に転じ、30~44歳は減少傾向にある。これに比較して45歳~54歳あるいは55歳以上は、緩やかではあるが増加傾向にあり、平成13年に45歳以上の就業比率は51.5%を占めている。

建設業で、高齢作業者の墜落災害は高齢者が増加しているから多いのか、高齢就業者を母数とした比率においても多いのかについて調べてみた。Fig.2は、平成11年の墜落死傷者数⁴⁾を同年の年齢階級別就業者数³⁾で除して、就業者に対する死傷者の比率を求めたグラフである。55歳以上になると他の年齢階級より墜落死傷者の比率が高くなり、10,000人の就業者に対して22.6人の墜落死傷者が発生している。

すなわち建設業における労働災害を概観すると、高所からの墜落による死亡災害が多いこと、それも高齢作業者が墜落で死亡する災害の多いことが特徴として挙げられる。

2. 研究目的

前述した背景から、高齢者の墜落死亡災害を対象にして、次の2つの研究目的を設定した。

- 1) 災害資料をもとに高齢作業者の墜落死亡災害に関して分析を行い、その背景要因を明らかにする。
- 2) 高齢者群と若齢者群を対象に、仮設足場上で実験を行い、歩行および運搬作業における生理・心理的負担を計測し、負担を生じる要因を明らかにする。

3. 災害資料による墜落死亡災害事例の分析

3.1 分析目的

墜落死亡災害を工事の種類別に、土木・建築・設備工事に分けると、建築工事が1番多く、平成13年の死亡者数は164人であり、墜落災害の62.6%を占める。さらに建築工事ではビル・木造建築からの墜落が多く120名が死亡している。これらビル・木造建築工事で、墜落の多い場所は足場・梁・母屋・開口部・窓・屋根・屋上の順番になり、これらの箇所から88人(73.3%)が墜落している。

そこで、労働災害資料をもとに、ビルおよび木造建築工事を対象にして、墜落死亡災害事例について、50歳以上の作業者と39歳以下作業者の比較を行い、その原因の相違を明らかにすることにした。

3.2 分析方法

産業安全研究所に保管されている労働災害資料のうち、ビルおよび木造建築工事による墜落死亡災害を対象にして、平成9年から遡ることにより、50歳以上の被災事例（以下、「高齢者群」という）102例（ビル51事例・木造51事例）、39歳以下の被災事例（以下、「若齢者群」という）100例（ビル50事例・木造50事例）を抽出した。これら事例について、被災者の高齢若齢別あるいは工事の種類別に墜落原因を調べるためにチェックリストによる分析と災害形成要因の分析を行った。チェックリストの作成にあたっては、被災者の年齢別・工事の種類別に墜落原因を明らかにするため、墜落災害発生に関わる人的要因の抽出を試みた鈴木ら⁵⁾の分析手法を参考に、発生年・月・時間、被災者の年齢・経験年数・勤続年数、職種、起因物、墜落の高さ、それに墜落に至る行動パターンなどの項目からリストを構成し、各項目についてコード化することで分析を行うこととした。また災害形成要因（鈴木らの作成した198の災害形成要因⁵⁾）を参考に、それら各項目に該当するか否かについて検討を加えた。

3.3 分析結果

3.3.1 墜落死亡者の年齢と経験年数

Table 1に、高齢者群・若齢者群、ビル・木造建築工事に分類して、墜落死亡者の年齢と経験年数を示す。

高齢・若齢者群共、ビル建築工事に比較して木造建築工事は経験年数の長い作業者が被災している。たとえば、ビル建築工事の若齢者群は平均経験年数が4年であるのに対して、木造建築工事の高齢者群は31.3年と、経験で27年の開きのあることに特徴がある。

3.3.2 墜落死亡者の職種

Fig.3に墜落死亡者の職種の構成比を示す。高齢・若齢者群共、鳶工・大工の比率が高いことは共通している。工事の種類別に詳細に見てみると、ビル工事は鳶工が高く、木造工事は大工が高い。さらにビル建築工事における高齢者群には、土工・鉄筋鉄骨工が高く、若齢者群には現場職員・塗装配管工が高い。

次に職種と経験年数の関係については、高齢者群の木造工事での被災者の平均経験年数は30年以上と高く、職種では大工が多い。若齢者群のビル工事での被災者の平均経験年数は4年程度であるが、これらの詳細をまとめるとTable 2のようになる。これによると全体的概観としては、現場職員の経験年数は5年以上であるが、鳶工・塗装配管工・その他の職種の経験年数は4年未満のものが墜落により死亡しているといえる。

Table 1 Age and experience for falling workers
墜落死亡者の年齢と経験年数

		高齢者群	若齢者群
ビル 建築工事	年齢	59.9歳	26.8歳
	経験年数	19.7年	4.0年
木造 建築工事	年齢	62.8歳	31.3歳
	経験年数	31.3年	10.1年

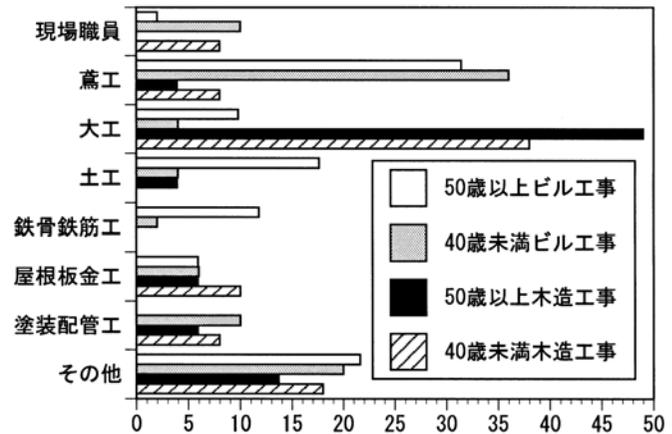


Fig.3 Occupations for falling workers
墜落死亡者の職種

Table 2 Occupations and ages for building construction (Younger group)
若齢者群ビル工事の職種と経験年数

職種	現場職員	鳶工	塗装配管工	その他
経験年数	5.2年	3.7年	3.5年	3.6年

Table 3 Height at falling point
墜落した高さ

単位 (m)	ビル工事	木造工事
高齢者群	6.6m	4.3m
若齢者群	11.2m	5.5m

以上の結果を要約すると、高齢者群木造工事の墜落死亡者は職種で大工が多く、平均経験年数は30年以上であること、若齢者群ビル工事の職種では鳶工が多く、平均経験年数は3.7年で未熟練者である。

3.3.3 墜落して死亡した高さ

Table 3に墜落して死亡した平均の高さについて示す。ビル工事は木造工事より高い所から墜落しているのは建物の高さが影響しているが、ビル工事では高齢

者群は若齢者群より低いところから墜落死亡していた。

この結果について、高さを従属変数として年齢と工事の種類を独立変数とする2要因分散分析を行った結果、年齢の主効果 ($F(1,198)=13.19;p<0.01$), 工事の種類の主効果 ($F(1,198)=25.66;p<0.01$), 交互作用において, ($F(1,198)=4.51;p<0.05$) それぞれ有意であった。

3.3.4 墜落時の行動

ビルと木造建築工事で、墜落発生時の被災者の行動を5タイプ23パターンに分類した。5タイプとは、移動時・作業時・足場不安定・他者設定足場倒壊・自者設定足場倒壊である。他者設定足場倒壊とは、自分以外の作業者が組立てた足場上で作業しており、その足場が倒壊した状況、自者設定足場倒壊とは、自分が足場倒壊の原因を作った状況である。例えば、作業床上で作業床を止めている足元の番線を自ら切断して、作業床と共に墜落した状況である。

Fig.4に墜落発生時の被災者の行動のタイプを示す。ビル工事では移動時に墜落災害が発生しているのに対して、木造工事では作業時に墜落災害が発生する頻度が高い。さらに事例は少ないが、木造工事では足場が不安定で墜落災害が発生している事例や、ビル工事では自分以外の作業者が組立てた足場が倒壊して墜落した事例があった。

次に、タイプ別で墜落災害発生頻度の多い、ビル工事移動中と木造工事作業中における被災者の行動パターンを示す。

Fig.5はビル工事で移動中の高齢者群と若齢者群の墜落時行動パターンの比較を示したグラフである。若齢者群は水平移動時に、高齢者群は上下方向の移動時に墜落災害の発生している頻度が高い。さらに高齢者群は通路が設定されていても通路外を移動した場合

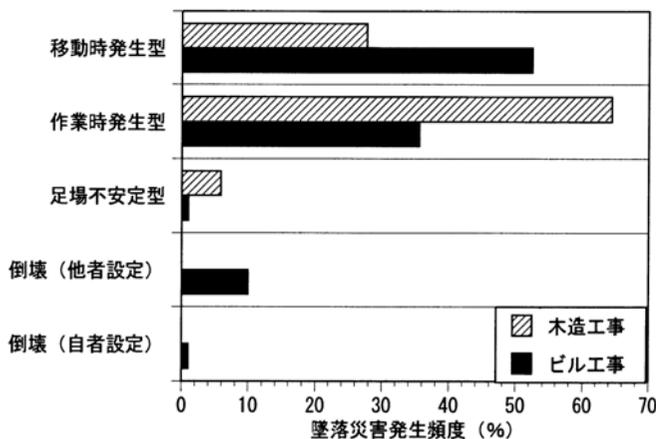


Fig.4 Patterns of behaviors in falling accidents
墜落災害時の行動パターン

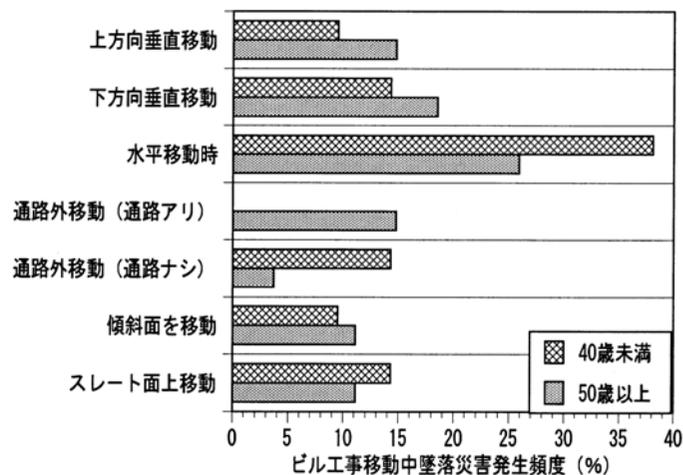


Fig.5 Falling accidents during movement at building construction
ビル工事で移動中の墜落災害

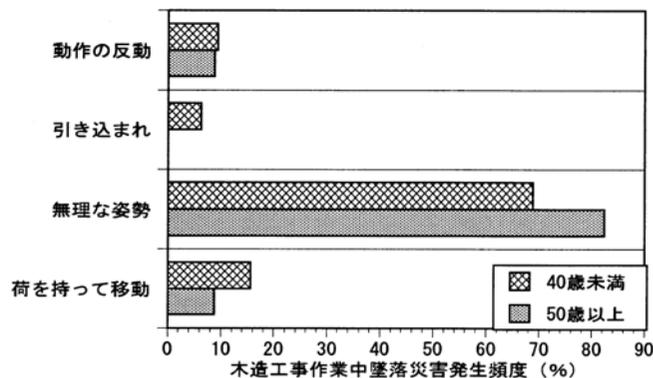


Fig.6 Falling accidents during working at wooden house construction
木造工事で作業中の墜落災害

Table 4 Primary factors for falling accidents
墜落災害形成上位10要因 (単位: %)

要因	高齢	若齢	全体
安全帯・帽・靴不使用	78.6	71.3	75.0
作業場所に問題あり	67.0	65.3	66.2
作業の安全指示出さず	64.1	62.4	63.2
安全管理に問題あり	58.3	66.3	62.3
安全計画の不足・未実施	61.2	63.4	62.3
危険な位置での作業	50.5	55.4	52.9
安全教育に問題あり	46.6	38.6	42.6
被災時の目撃者なし	47.6	37.6	42.6
安全帯の不携帯	31.1	45.5	38.2
無理な姿勢での作業	32.0	41.6	36.8

に、若齢者群は通路がないので通路外を移動した場合に墜落に遭遇した事例が多い。

Fig.6は木造工事で作業中の高齢者群と若齢者群の墜落時行動パターンの比較を示したグラフである。高齢者・若齢者群とも圧倒的に無理な姿勢で作業を行い墜落した事例が多かった。

3.3.5 災害形成要因分析結果

Table 4に198項目の災害形成要因の中から、チェック率の高かった上位10要因を示した。

安全帯など保護具を不使用・不携帯の問題、安全計画・教育など安全管理に関する問題、危険な作業場所での作業など、基本的な安全施策項目にチェック頻度の

高い結果が得られた。

高齢者群と若齢者群でチェック頻度に10%以上の相違がみられた災害発生状況は、高齢者群では単独で作業しており被災時に目撃者のいない状況での墜落であり、若齢者群では安全帯を所持しておらず、そのため墜落した状況であった。

3.3.6 因子分析結果

災害形成要因198項目について、チェック率5%以下の項目、「不明」「欠陥なし」に該当する項目を除いた62項目を対象に因子分析を行い、墜落死亡災害の背景にある因子の抽出を試みた（主因子法を用い、バリマックス回転を行った）。その結果、墜落死亡災害

Table 5 Result of factor analysis for falling accidents
災害形成要因の因子分析結果

	因子1 基本	因子2 手順省略	因子3 連絡	因子4 誤判断	因子5 天候	因子6 養生	因子7 通路
作業の安全指示なし	0.536	0.013	-0.015	-0.022	-0.002	0.037	0.176
作業場所・置場に問題あり	0.503	-0.044	0.142	-0.240	-0.128	0.220	-0.047
安全帯不携帯	0.470	-0.112	-0.340	-0.220	-0.213	0.402	0.054
作業・安全計画不良	0.413	-0.183	0.059	-0.110	0.061	0.322	0.149
親綱不備・未設置	0.399	-0.132	-0.268	-0.436	0.067	0.038	-0.177
近道行動・禁止事項無視	-0.166	0.512	-0.037	-0.039	-0.029	0.057	0.060
心理的機能（面倒）	0.006	0.440	-0.015	0.055	0.030	-0.027	-0.016
手順の省略	-0.047	0.442	0.074	0.077	0.080	-0.003	0.111
大丈夫と思った	0.159	0.395	0.093	0.243	-0.240	-0.138	0.237
組織間打合せ不十分	0.051	-0.040	0.553	0.237	0.102	0.177	0.134
連絡に問題あり	0.138	-0.028	0.449	-0.020	-0.111	-0.019	0.024
作業間の連絡調整不足	-0.024	0.016	0.382	0.042	-0.078	0.161	-0.049
KYKで問題点の指摘なし	-0.050	0.060	0.368	0.056	0.010	-0.201	0.004
危険な状態を作る	0.183	0.161	0.140	0.495	-0.020	0.007	-0.137
情報処理機能（判断）	-0.043	0.060	0.048	0.491	-0.007	0.017	-0.042
心理的機能（思い込み）	0.024	0.068	0.159	0.425	-0.110	-0.012	0.188
雨・風・雪など悪天候	0.001	0.155	-0.025	-0.180	0.653	-0.030	-0.023
天候の関与	-0.006	0.073	-0.075	-0.134	0.637	-0.054	-0.035
床面の不良	0.011	-0.070	0.004	0.124	0.328	0.004	-0.077
開口部蓋・手摺など不備	0.135	0.062	0.065	0.081	0.320	0.417	-0.212
作業設備不備（開口部）	0.052	0.033	-0.023	0.089	0.120	0.304	0.159
安全通路不備・未設置	0.098	0.056	0.008	0.039	-0.100	0.029	0.767
作業通路不備・未確保	0.189	0.086	0.053	0.019	0.003	-0.039	0.656
寄与率	8.6%	6.2%	4.6%	4.2%	3.8%	3.5%	3.4%
累積寄与率	8.6%	14.8%	19.4%	23.6%	27.4%	30.9%	34.3%

Table 6 Factor average scoring about age and construction
年齢別・工事の種類別の平均因子得点

	因子1 基本	因子2 手順省略	因子3 連絡	因子4 誤判断	因子5 天候	因子6 養生	因子7 通路
高齢者群	-0.054	*0.099	-0.117	-0.074	-0.029	0.093	-0.027
若齢者群	0.055	-0.101	*0.119	0.076	0.029	-0.095	0.028
ビル工事	-0.224	***0.401	***0.502	**0.146	0.032	0.014	-0.065
木造工事	***0.224	-0.401	-0.502	-0.146	-0.032	-0.014	0.065
ビル工事 高齢者群	-0.351	**0.602	0.432	0.040	-0.114	***0.236	-0.139
若齢者群	-0.095	0.195	0.573	0.254	0.181	-0.213	0.010
木造工事 高齢者群	0.243	-0.404	***-0.665	-0.189	0.057	-0.050	0.084
若齢者群	0.205	-0.398	-0.335	-0.102	-0.123	0.023	0.046

(*p<0.10, **p<0.05, ***p<0.01)

の背景因子として7つの因子が抽出された。それら因子をTable 5に示した。

まず抽出された7つの因子について述べる。

第1因子<基本的な安全要件を満たしていない因子>：安全帯不携帯，親網未設置，作業場所に問題があるなど。

第2因子<作業手順の省略に関する因子>：近道行動・禁止事項無視，大丈夫と思ったなど。

第3因子<連絡に関する因子>：作業前に打合せなし，組織間の打合せが不十分，作業間連絡調整不足など。

第4因子<誤判断に基づく因子>：思い込み，危険な状態を作るなど。

第5因子<天候に係わる因子>：雨・風・雪など。

第6因子<養生の不備に係わる因子>：開口部蓋，手摺などの不備による。

第7因子<通路に関する因子>：通路の不備・未確保・未設置など。

次にこれら7つの因子に関して，年齢と工事の種類別の関係を明らかにするため，年齢別・工事の種類別に因子得点を算出した（数値が高いほどその因子に該当する傾向が強い）。Table 6にその結果を示した。

t検定を行った結果，年齢別では高齢者群に<手順省略>因子得点の有意に高い傾向(t(200)=1.65, p<.10)が，若齢者群に<連絡>因子得点の有意に高い傾向(t(200)=1.95, p<.10)が現れた。

工事の種類別ではビル工事に，<手順省略>因子(t(200)=7.42, p<.01)，<連絡>因子(t(200)=10.1, p<.01)，<誤判断>因子(t(200)=2.46, p<.05)の得点が高い傾向が現れた。また木造工事では<基本的な

安全要件欠如>因子得点が高い傾向が有意に高かった(t(200)=-3.63, p<.01)。

次に高齢者群について，工事の種類別に平均因子得点を算出して，その墜落災害の特徴を検討した。

高齢者群のビル工事では<手順省略>因子(t(99)=-2.33, p<.05)と<養生>因子(t(99)=2.77, p<.01)の得点が高い傾向が得られた。

高齢者群の木造工事では，<連絡>因子の得点が高い傾向が低い(t(99)=-2.99, p<.01)結果が得られた。これは木造工事では高齢者の単独作業で墜落死亡災害が発生していることによる。

3.4 考察

高齢作業員のビル建築工事では<手順省略>因子に関わる特徴が抽出されている。これについて高齢作業員は作業経験が豊富（平均経験年数19.7年）であるとされる反面，作業手順を省略する傾向も合わせ持ち，特に作業規模が大きく工程の複雑なビル建築工事では作業手順が複雑になる傾向があり，手順省略が災害を誘発する傾向にあると考えられる。

またビル工事における墜落の高さで，高齢者群は若齢者群より低いところから墜落していることを前述したが，因子分析結果と合わせて考察すると，養生不備の開口部から墜落により死亡する傾向がある。さらに高齢者群は鳶以外の職種で土工・鉄筋鉄骨工が多いことを前述したが，これらの職種においても，屋外あるいはビルの各階など低い位置の作業で墜落しても，体力の低下などにより死に到ることが多いのではないかと推察される。

高齢作業員の木造工事では，連絡に関する因子の関

与する傾向が極めて低い結果が示されている。これは個人用住宅建築工事などにおいて、1人大工あるいは2～3人の工務店作業員で行われている結果であろう。

工事の種類別において、ビル工事で<連絡>因子得点が高いのは、複数の下請業者が相互に連絡調整しながら建築を進めていくことが関係しており、また<手順省略>因子得点、<誤判断>因子得点の高い理由は、ビル建築の大規模・高層化により作業手順が複雑になったことが関係している。一方木造工事で<基本的な安全要件欠如>因子得点が高いのは、安全管理・設備・教育などの対策が十分に実施されていないのが原因と考察する。

以上の因子分析結果をもとに、墜落災害の背景を推測すると、次のような状況により災害が発生している。

- ・ビル建築工事では、複数の下請業者が相互に作業調整・連絡しながら建設を進めているが、作業員間の連絡ミスなどにより墜落災害が発生している。
- ・最近のビル工事は狭い敷地に高層ビルを建築する状況にあり、作業工程が複雑な場合が多い。このような作業環境下では、作業員の誤判断や手順省略が災害に繋がる傾向が強い。特に高齢作業員は作業手順を省略したことによる墜落災害が多く、災害事例では通路が設置されているにもかかわらず通路外移動をする行動パターンが示されており、開口部の養生不備などが原因で死亡している。
- ・木造建築工事では、安全帯不携帯・親綱未設置、作業場所に問題など、基本的な安全要件が欠如した作業環境下で、高齢作業員が単独で働いて墜落災害に遭遇している。

4．仮設足場上の歩行および運搬作業実験

4.1 実験目的

ビル建築工事における墜落時行動のタイプでは、高齢・若齢者群共に水平移動時における墜落災害が多い。そこで、高齢被験者と若齢被験者に仮設足場の作業床上で、歩行および運搬作業を行なわせた。そして負担の少ない作業環境条件を明らかにするために、生理・心理的負担を計測した。

4.2 実験方法

実験はFig.7に示した8層（層とは縦方向の足場ユニット数）6スパン（スパンとは横方向の足場ユニット数）の枠組仮設足場を使用して行った。この仮設足場上で歩行および運搬作業を行わせ、層高さや作業床幅

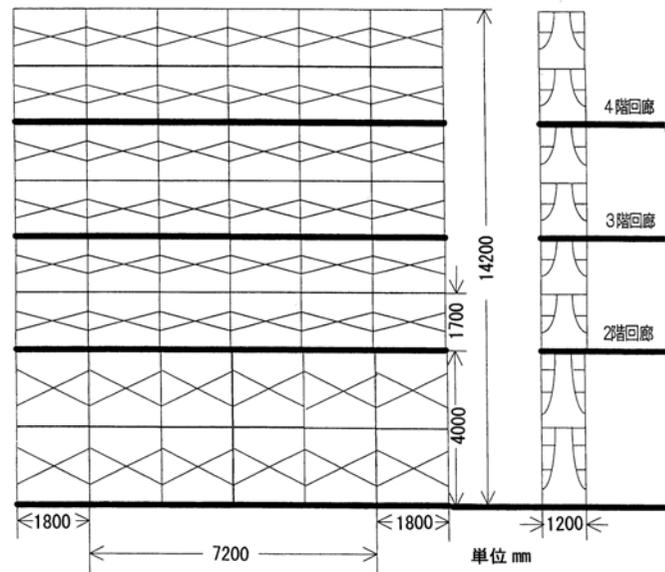


Fig.7 The front and side views of the scaffold
仮設足場の正面および側面図



Photo.1 An experiment on the scaffold
仮設足場上での実験

の異なることによる生理・心理的負担の相違を調べた（Photo.1参照）。

実験条件を次に示す。

Fig.7で示した中央4スパン（長さ7,200mm）を往復させ、両端にある各1スパン（長さ1,800mm）でUターンさせた。歩行は手に何も持たずに移動（以下「歩行」という）、運搬作業は手に作業床（長さ1,800mm幅500mm単重9,900g）を持って移動（以下「運搬作業」という）させた。

層高さは地上と6層（地上より10,800mmの高さ）で、作業床幅は幅240mmと幅500mmの条件で実験を行った。

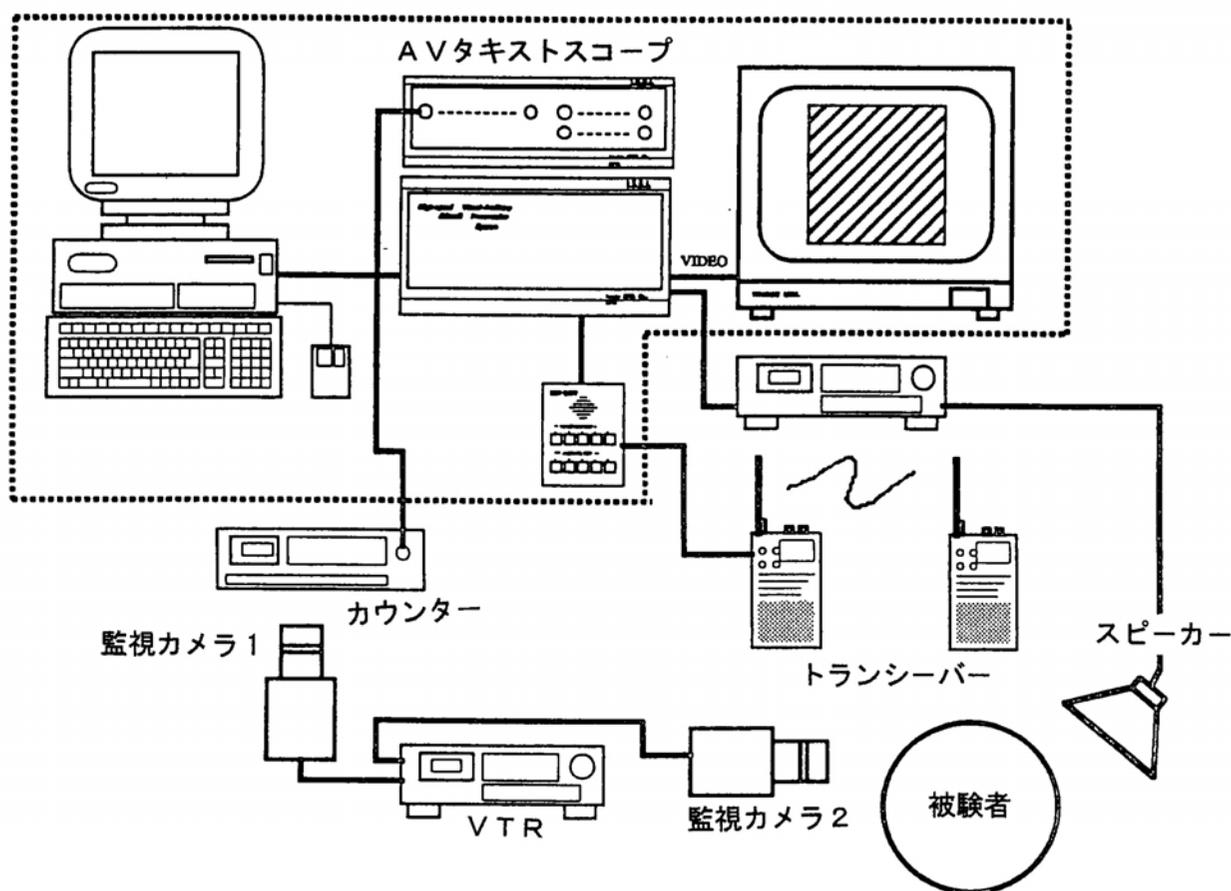


Fig.8 Measurement system for mental work load
精神負荷測定システム

被験者は、高齢者群7名（平均57.1歳，標準偏差3.9歳）と若齢者群9名（平均33.4歳，標準偏差9.1歳）である。

歩行および運搬作業に関しては真横からのビデオ撮影を行い，歩行速度（単位:m / 秒），歩幅（単位：m / 歩），ピッチ時間（一步に要する平均時間，単位：秒 / 歩）を計測した。

生理的負担の測度として心拍数を，心理的負担の測度として作業に対する余裕を調べるため，副次課題への反応時間を計測した（Fig.8参照）。

この実験における副次課題とは，2秒に1数字の割合でスピーカから流れるランダムな数字（3から9までの7数字でそれぞれ男性の声と女性の声の計14数字）のうち特定の数字（男性の声の「4」「9」，女性の声の「5」「7」）が聞こえた時のみ，出来るだけ早く「はい」と声で反応させる課題であり，その反応時間をボイススイッチで計測した。被験者に呈示される音

声刺激は，AVタキストスコープ（岩通アイセル社製IS-701D）に登録された数字をコンピュータで制御した。被験者の音声反応は，送信用トランシーバ（八重洲無線社製FDH-300A）から，受信用トランシーバ（八重洲無線社製FDH-300B）を経由して記録した。また被験者の作業状態と反応時間を示すカウンタを2台の監視カメラで撮影し，画像ミキサー（Panasonic社製WJ-AVE55）で合成してVTR（SONY社製GV-D900）に記録した（実験装置および課題の基本的構成は江川・白井(2001)⁷，Usui(2002)¹⁰と同様である）。

1試行は280秒で，その間140回，数字が音声で呈示された。反応すべき数字の呈示回数は40回（28.6%）である。被験者はまず地上で椅子に座った状態で，副次課題の練習を3試行行い，副次課題に対して正確に反応出来ることを確認した。

本実験では「地上」と「6層」において，それぞれ作業床500mmと240mm上を，「歩行」「運搬作業」別

に計8試行実施した。最後に「統制条件」として地上で安静状態にして、副次課題のみの計測を行った。

8試行の実施順序はカウンターバランスされ、各試行直後に被験者の感じる精神的負荷の程度をNASA-TLXを用いて主観的に評価させた（NASA-TLXは米国のNASAで開発されたタスクロードインデックスで、「精神的要求」「身体的要求」「時間的圧迫」「作業達成度」「努力」「不満」の6つの尺度から構成される質問紙である。被験者はそれぞれの下位尺度に関して、「高い」と「低い」の両極の間に引かれた目盛のない直線上の適当な位置にチェックを記入することで評定し、実験者は線分上を測ることにより、0 - 100の評定値をそれぞれの下位尺度に与える。詳しくは、三宅・神代(1993)¹¹⁾、芳賀(2001)¹²⁾参照)

被験者には事前に実験の内容を伝え、同意を得た。また現場作業に相当する日当が支払われた。

4.3 実験結果

4.3.1 歩行速度の結果

Fig.9に作業床幅500mmの6層歩行時について、高齢者群（7名）と若齢者群（9名）の歩行速度の比較を示す。

作業床幅500mm歩行時において、高齢者群の平均歩行速度は0.70m / 秒（標準偏差0.13m / 秒）、若齢者群の平均歩行速度は0.91m / 秒（標準偏差0.18m / 秒）と、高齢者群の歩行速度の遅い結果が得られた($t(14)=2.52, p<.05$)。

Fig.10に同じく作業床幅500mmの6層について、運搬作業時の高齢者群と若齢者群の速度の比較を示す。

運搬作業時において、高齢者群の平均運搬速度は0.65m / 秒（標準偏差0.16m / 秒）、若齢者群の平均運搬速度は0.85m / 秒（標準偏差0.16m / 秒）と、高齢者群の運搬作業速度の遅い結果が得られた($t(14)=2.33, p<.05$)。

この結果より、作業床幅500mmの条件では、高齢者群・若齢者群共、歩行時より運搬作業時に速度が低下し、さらに歩行時・運搬作業時共、高齢者群は若齢者群より有意に速度の低下していることが明らかになった。

Fig.11に作業床幅が狭い240mmの場合について、高齢者群と若齢者群の歩行速度の比較を示す。

高齢者群の平均歩行速度は0.53m / 秒（標準偏差0.13m / 秒）、若齢者群の平均歩行速度は0.83m / 秒（標準偏差0.21m / 秒）と、高齢者群の歩行速度の遅い結果が得られた($t(14)=3.08, p<.01$)。

Fig.12に同じく作業床幅240mmにおける運搬作業時の比較を示す。

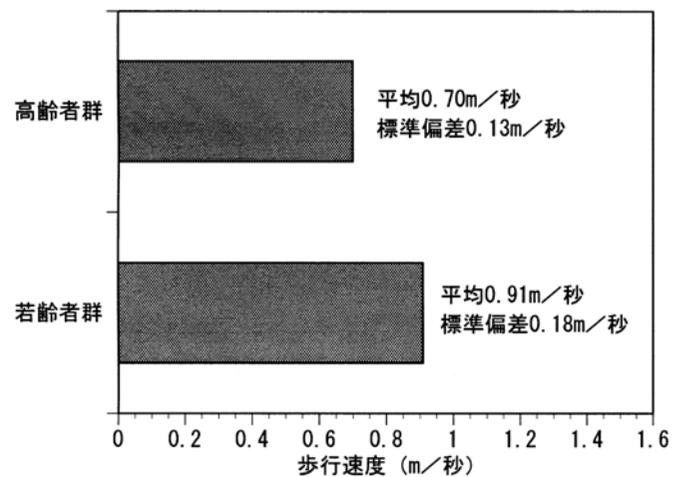


Fig.9 Walking speed on the 500mm board
仮設足場上の歩行速度（500mm幅）

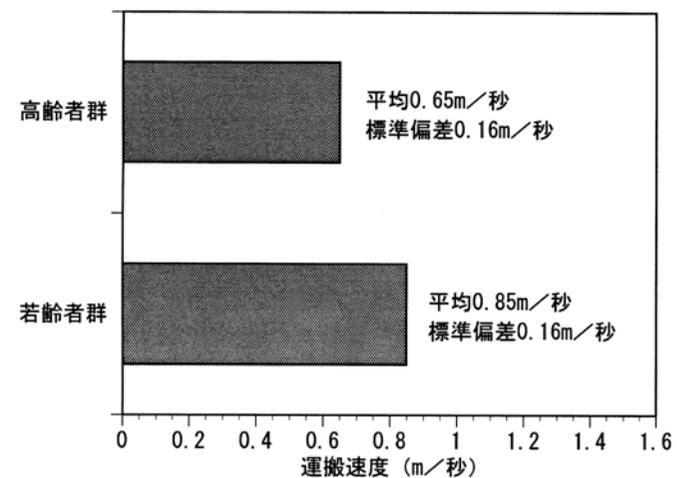


Fig.10 Carrying speed on the 500mm board
仮設足場上の運搬速度（500mm幅）

高齢者群の平均運搬速度は0.49m / 秒（標準偏差0.16m / 秒）、若齢者群の平均運搬速度は0.74m / 秒（標準偏差0.18m / 秒）と、高齢者群の運搬作業速度の遅い結果が得られた($t(14)=2.68, p<.05$)。

この結果より、作業床幅240mmの条件においても、歩行時・運搬作業時共、高齢者群は若齢者群より速度の低下していることが明らかになった。さらに240mm幅の作業床上での歩行時においては、高齢者群と若齢者群の歩行速度の違いが大きいことが明らかになった。

こうした結果に基づき、作業床幅500mmと240mmについて、年齢群別及び負荷の有無（歩行・運搬作業）別の比較を行った。

高齢者群の歩行と運搬作業、若齢者群の歩行と運搬作業の4条件で平均値の差の検定を行った結果、高齢

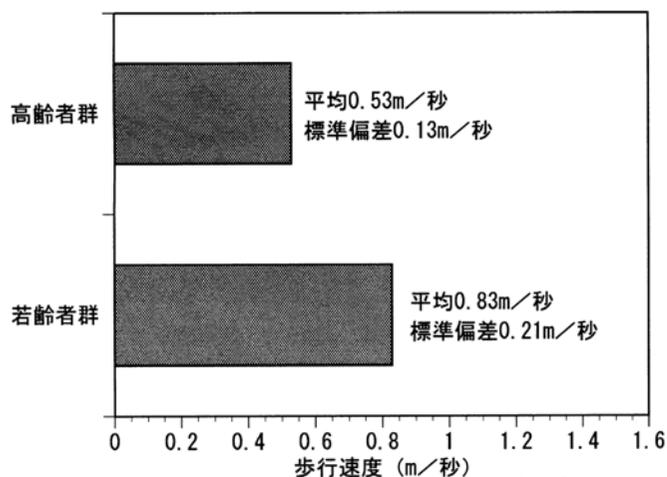


Fig.11 Walking speed on the 240mm board
仮設足場上の歩行速度 (240mm幅)

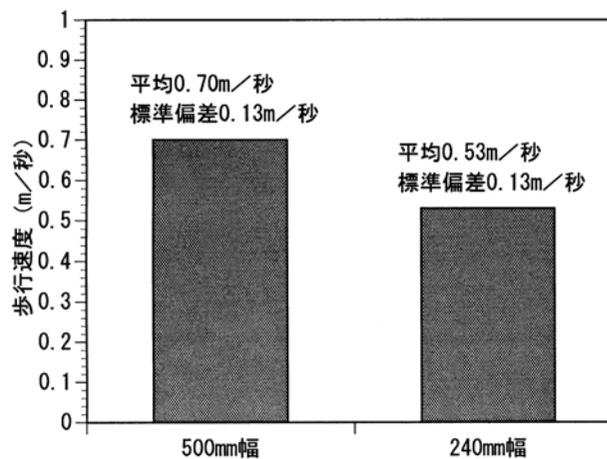


Fig.13 The difference of walking speeds
(Walking for elder group)
作業床幅における歩行速度比較
(高齢者群歩行時)

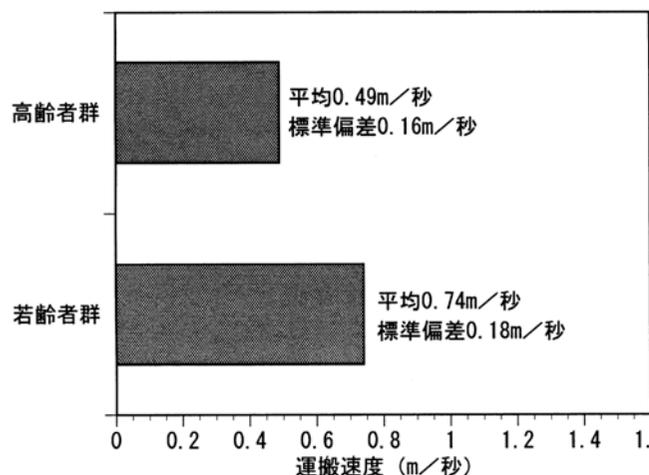


Fig.12 Carrying speed on the 240mm board
仮設足場上の運搬速度 (240mm幅)

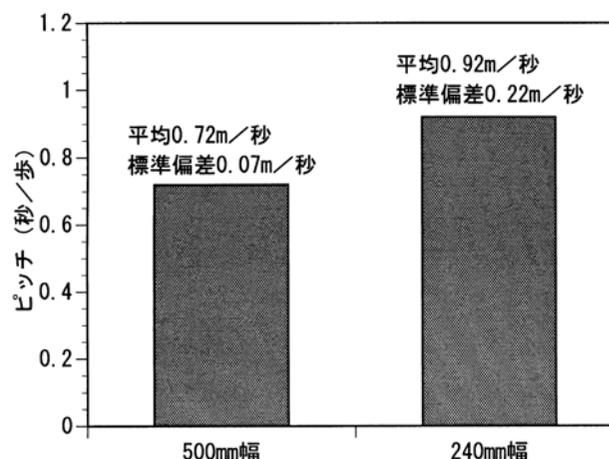


Fig.14 The difference of step width
(for elder group)
作業床幅における歩幅比較
(高齢者群歩行時)

者群の歩行時においてのみ、作業床幅240mmでの歩行速度が500mm時より有意に(t(12)=2.19, p<.05)遅くなっていた(Fig.13)。

すなわち高齢者群は若齢者群より作業床幅(500mm・240mm) 負荷の有無(歩行・運搬作業)の両条件で速度が低下しており、高齢者群は作業床幅が500mmから240mmになると、歩行速度が有意に低下することが明らかになった。

次に高齢者群の作業床幅240mm上での歩行速度について、歩幅(単位:m/歩)とピッチ時間(本論文では、一步に要する平均時間をピッチ時間という。単位:秒/歩)の両面から検討を行った。

歩行速度を決定する歩幅とピッチの関係は式(1)で示される。

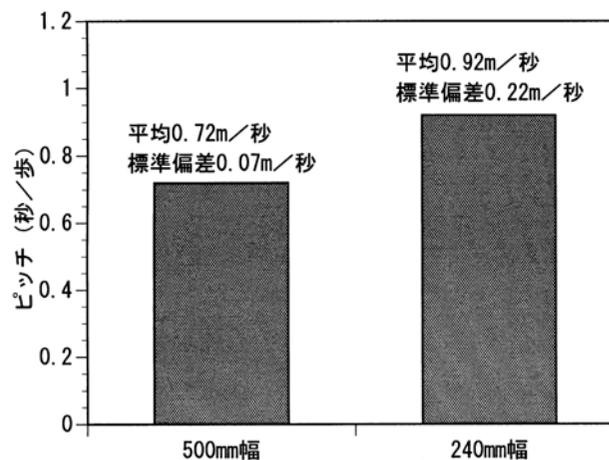


Fig.15 The difference of walking strokes
(for elder group)
作業床幅におけるピッチ時間比較
(高齢者群歩行時)

$$\text{歩行速度} = \text{歩幅} \times 1 / \text{ピッチ時間} \quad (1)$$

高齢者群は歩行時において、作業床幅が狭まると歩行速度が有意に低下するが、これは歩幅が狭まるためか、ピッチ時間が増加するためかを調べた。Fig.14に歩幅 (m / 歩) のグラフ、Fig.15にピッチ時間 (秒 / 歩) のグラフを示す。

これらのグラフによると、高齢者群が作業床幅240mmにおいて歩行速度が低下したのは、一步に要する時間の増加したことが明らかになった。

平均値の差の検定を行った結果、歩幅については有意差が認められなかったが、ピッチ時間については作業床幅500mmと240mmの間に有意差が認められた ($t(12)=2.21, p<.05$)。

4.3.2 歩行速度の考察

歩行時と運搬作業時において、また作業床幅が500mmと240mmにおいて、高齢者群は若齢者群より速度が遅い結果が得られた。

また環境条件である作業床幅が500mmから240mmと狭くなることにより、高齢者群は若齢者群より歩行速度が遅くなり、特に高齢者群の歩行時では、速度の有意に低下することが明らかになった。

さらに歩行速度の低下を、歩幅とピッチ時間の両面から調べると、高齢被験者が作業床幅240mmを歩行する場合、ピッチ時間すなわち一步に要する時間が増加することが明らかになった (Fig.15参照)。これに比較して、歩幅は身長に関連するためFig.14で示したように作業床幅が狭まっても余り変化していない。

Table 7は日本人の足幅と左右の足の間隙を示した表である⁶⁾。日本人男性足幅は平均で約105mmあり、左右の足を隙間なく合わせた時、2倍の約210mmになる。歩行する時には左右の足を隙間なく合わせて歩くことは出来ず、左右の足の間隙をさらに150mm程度開いて歩かなければならない。すなわち歩行するためには、最低でも左右の足幅と間隙を合わせた約360mmの幅が必要になる⁷⁾。

Fig.16に作業床幅による歩行形態の相違を示した。作業床幅が500mmであると、左右の足を真っ直ぐ前方に踏み出すことが出来る。しかし作業床幅が240mmの場合は歩行に必要な360mm以下であるため、左右の足を真っ直ぐ前方に踏み出すと接触して歩くことが出来ず、迂回した踏み出し方をとらざるを得ない⁷⁾。そしてこの迂回した踏み出し方をしている時間は、足が240mm幅の作業床の外側に迫出している。

Fig.15により、高齢被験者が作業床幅240mmを歩行する場合、ピッチ時間すなわち一步に要する時間が増加することを前述したが、これは足が作業床の外側に迫出している時間が増加していることである。すな

Table 7 Mean and standard deviation of Japanese foot width
足幅の平均と標準偏差

足幅(単位 mm)	男性	女性
平均値	104.2mm	95.7mm
標準偏差	4.6mm	4.4mm

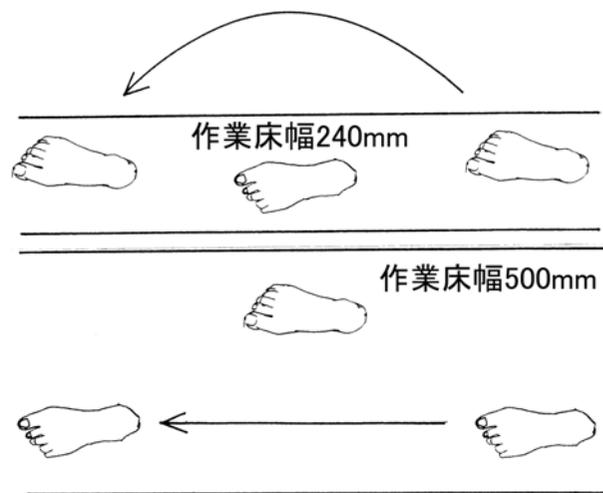
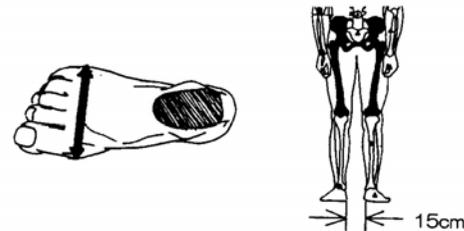


Fig.16 Walking step style on the board
作業床幅による歩行形態の相違

わち作業床幅240mm歩行時は幅500mmより、バランスを崩し墜落の危険に繋がりがやすい歩行形態をとる時間の割合が多いと考えられる。

今回行った実験により、作業床幅500mmの方が、高齢被験者が安定した歩行形態をとりやすいことが明らかになった。

4.3.3 生理的負担の結果

地上と6層および作業床幅500mmと240mmの実験条件で、歩行時と運搬作業時の生理的負担を調べるため心拍数の計測を行った。

Fig.17は高齢者群(6名)の, Fig.18は若齢者群(7名)の心拍数の結果である。

これらのグラフによると, 地上と6層および作業床幅500mmと240mmで心拍数の変化は余り見られないが, 高齢および若齢者群とも運搬作業時には歩行時より心拍数の増加が観察された(高齢者群は(t(10)=3.03,p<.01), 若齢者群は(t(12)=4.71,p<.001))。

またTable 8に示したように, 歩行時と運搬作業時

の両実験条件で, 心拍数は若齢者群が高齢者群より高い結果が得られた(歩行時(t(11)=2.76,p<.05), 運搬作業時(t(11)=2.78,p<.05))。

これは負荷による心拍数の上昇が年齢増加にともない抑制を受ける結果⁸⁾であり, 最高心拍数も年齢にともない低下している。

一般に, 最高心拍数と年齢の関係は式(2)で示される⁹⁾。

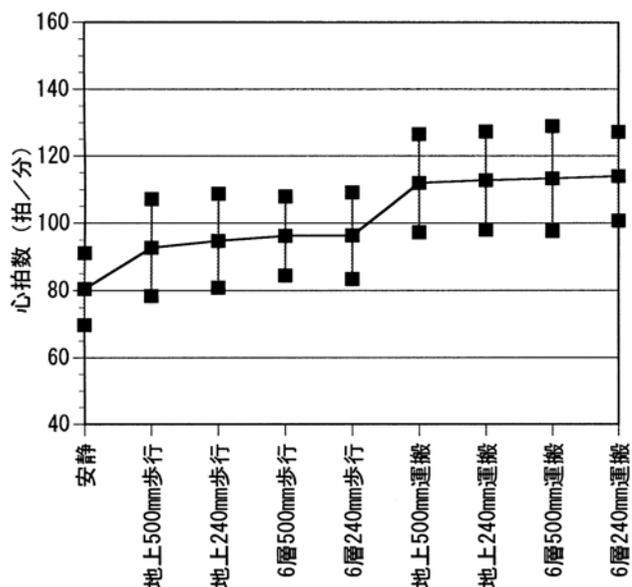


Fig.17 Variation of heart rates by experimental conditions(elder group)
実験条件による心拍数変化(高齢者群)

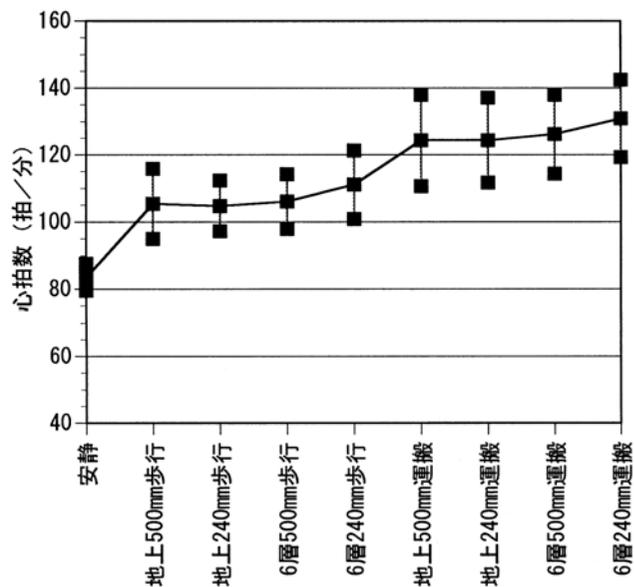


Fig.18 Variation of heart rates by experimental conditions(younger group)
実験条件による心拍数変化(若齢者群)

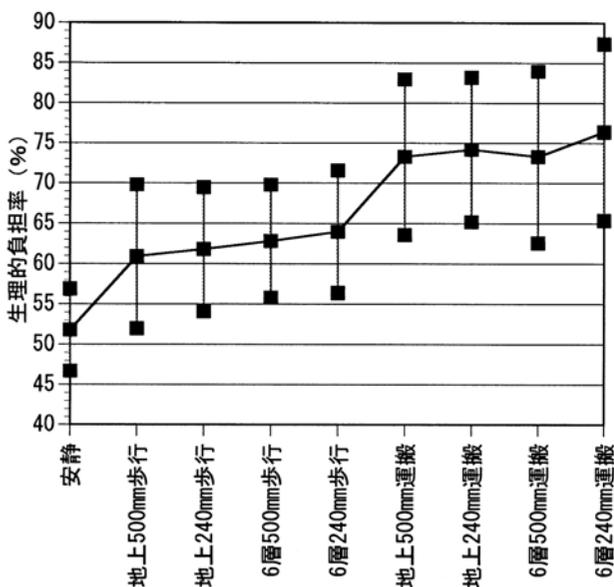


Fig.19 Variation of physical working load (elder group)
生理的作業負担の変化(高齢者群)

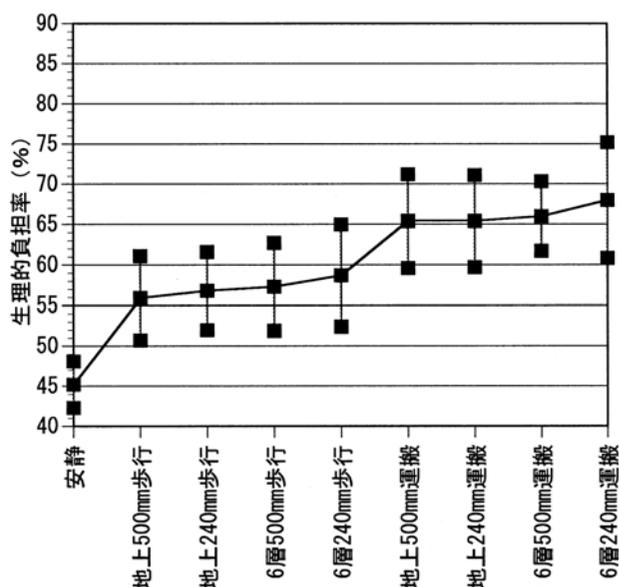


Fig.20 Variation of physical working load (younger group)
生理的作業負担の変化(若齢者群)

Table 8 Comparison of average heart rates
平均心拍数の比較

(拍/分)	歩行時	運搬作業時
高齢者群	96.3	113.6
若齢者群	108.6	128.6

Table 9 Comparison of physical working rate
実験条件による心拍数変化(高齢者群)

(%)	歩行時	運搬作業時
高齢者群	63.4%	74.9%
若齢者群	58.0%	67.0%

$$\text{最高心拍数} = 210 - 0.8 \times \text{年齢} \quad (2)$$

そこで、高齢・若齢被験者について式(2)を用いて、年齢から最高心拍数を推定し、最高心拍数に占める各実験条件の心拍数の比率(以下、生理的負担率という)を算出した。

Fig.19に高齢者群の、Fig.20に若齢者群の生理的負担率のグラフを示す。

Table 9で示したように、運搬作業時の生理的負担率の平均は、高齢者群が74.9%であり、若齢者群が67.0%であった。平均値の差の検定の結果、高齢者群と若齢者群の間に有意差がみられた($t(11)=2.23$, $p<.05$)

4.3.4 生理的負担の考察

運搬作業時は歩行時より心拍数が上昇し、この傾向は高齢者群より若齢者群において顕著である。

この現象は若齢者群では負荷に対して、心拍数を増加させ循環器系が適応を図るためである。これに比較して高齢者群は、年齢増加にともない心拍数の上昇が抑制されるため、負荷にともなう生理的適応が図りにくい。

年齢をもとに最高心拍数を推定して生理的負担率を算出した。その結果、高齢者群は最高心拍数の約75%(これに比較して若齢者群は約67%)で運搬作業を行っており、この生理的負担率はジョギング時の負担に相当する。

Table 10 Mean rates of miss and false alarm according to age group
各年齢群の平均ミス率と平均FA率

単位%		6 層		地 上	
		240mm	500mm	240mm	500mm
高齢	ミス率	3.46	2.31	1.89	2.11
	FA率	0.66	0.72	0.30	1.01
若齢	ミス率	2.71	2.31	2.29	1.89
	FA率	0.12	0.48	0.12	0.12

これより高齢者群が運搬作業を行う場合、歩行速度を低下させ、生理的負担率を少なくとも70%以下にする必要がある。

高齢者群が歩行速度を低下させた場合、それはピッチ時間の増加に繋がることを前述した。作業床幅240mmの場合、ピッチ時間が増加すると足が作業床の外側に迫出す時間も長くなるので、バランスを崩し墜落する危険性も高まると考えられる。

4.3.5 心理的負担の結果と考察

高所作業環境下で歩行および運搬作業を行う場合の、高齢・若齢者群の心理的負担として精神的余裕度を計測した。

1) ミス率、フォールスアラーム(FA)率結果

要応答数字に無応答であった比率(ミス率)は高齢者群2.4%、若齢者群2.1%、応答する必要のない数字に誤って応答する比率(False Alarm率、以下、FA率という)はそれぞれ0.6%、0.2%であった。すなわち被験者は副次課題にほぼ正確に回答し、また年齢群間で大きな違いはなかった。

Table 10に各年齢群の実験条件別にみた平均ミス率と平均FA率を示す。ミス率に関しては全体的に発生率が低いものの、最も負担が強いと考えられる6層の作業床幅240mm条件において、高齢者群のミス率が他の条件よりやや高い値を示した。

2) 反応時間結果

Table 11に副次課題の平均反応時間を示す。年齢、高さ、作業床幅、負荷の有無(歩行と運搬作業)に

Table 11 Mean reaction times (time in milliseconds) for the secondary task
副次課題平均反応時間(単位: ms)

単位 (ms)	6 層				地 上				統制
	240 mm		500 mm		240 mm		500 mm		
	負荷無	負荷有	負荷無	負荷有	負荷無	負荷有	負荷無	負荷有	
高齢群	962	960	964	936	930	931	954	937	959
若齢群	861	845	867	846	849	860	837	839	827

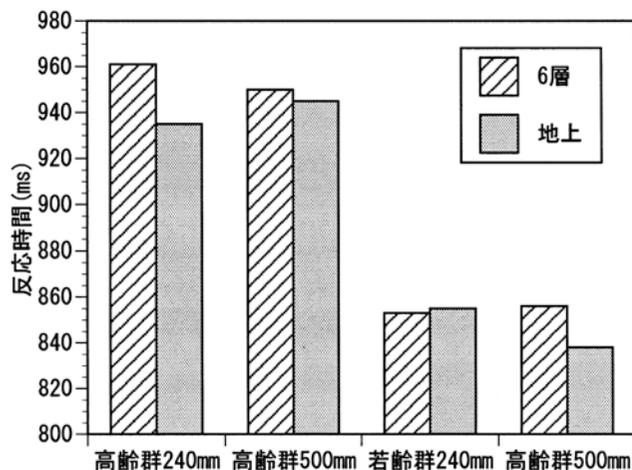


Fig.21 Mean reaction times for the secondary task according to the footing board width
作業床幅別副次課題平均反応時間

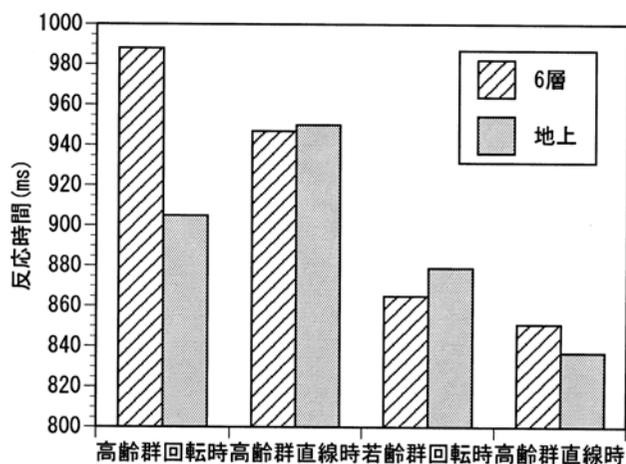


Fig.22 Mean reaction times for the secondary task according to the phases of walking
歩行フェーズ別副次課題平均反応時間

関し4要因分散分析を行った結果、主効果について、年齢($F(1,3690)=273.22, p<0.001$)と高さ($F(1,3690)=4.138, p<0.05$)に有意差が認められたが、作業床幅には有意差が認められなかった。

各要因間の交互作用については、年齢、高さ、作業床幅、負荷の有無の各要因間で有意差が認められなかった。しかし年齢×高さ×作業床幅の2次交互作用に有意な傾向差($F(1,3690)=2.881, p<0.10$)が認められた。

以上の結果から、まず高齢者の副次課題への反応時間は若齢者に比べて長いことがわかる。反応時間に加齢の効果が見られることは、これまで多くの研究者により、様々な課題で確かめられているが(例えば Welford, 1980)¹³⁾、本研究の課題においてもそれを支持する結果となった。

Table 12 Mean reaction times for the secondary task according to the phases of walking
歩行フェーズ別副次課題平均反応時間

単位 (ms)	6 層		地 上		
	240mm	500mm	240mm	500mm	
高 齢	回転時	993	983	901	910
	直線時	953	942	946	955
若 齢	回転時	878	854	880	878
	直線時	846	857	847	827

また今回の実験では、高さの主効果が認められたが、これは鷹職人を被験者として同じ仮設足場で実験を行ったUsui(2002)の結果¹⁰⁾と異なっていた。この理由として、Usui(2002)報告で作成した副次課題は、女性の音声刺激のみが呈示され、その中から特定の数字を検出するという単純検出課題であったのに対し、今回の副次課題では男性、女性の声を弁別するという要素が加味されており、課題の難易度を高めたことに起因すると考察される。

さらに本実験では、高さの主効果が認められたが、年齢×高さの交互作用は認められなかった。これは本実験の高所歩行では、高さによる心理的余裕度の低下は認められるが、それは年齢に係わらず、高齢・若齢者群に共通の傾向であることが明らかになった。

Usui(2002)の報告¹⁰⁾では、高所作業未経験者は6層で作業床幅が240mmの幅になると、副次課題のパフォーマンスが低下する、すなわち心理的余裕が少なくなることが見出された。一方今回の実験では、副次課題の難易度を高めたにもかかわらず、高齢者群における作業床幅の効果、さらに年齢と作業床幅の交互作用が統計的にほとんど認められなかった。これより被験者の心理的余裕度については、基本的に年齢による作業床幅の影響は認められないことが明らかになった。

ただし年齢×高さ×作業床幅の2次交互作用、すなわち「高さ」の要因を追加した状況では、有意な傾向差が認められている。Fig.21における地上・6層での作業床幅別の反応時間結果で示したように、高齢者群では高所で作業床幅が狭い危険な作業環境になると心理的余裕度が低下する危険性が示唆された。

Usui(2002)の報告¹⁰⁾では、作業床上を方向転換する場合、足元に注意を向けたりバランスをとる時などに、心理的余裕度の低下する結果を示した。そこで本実験課題においても、歩行動作を直線歩行と回転動作の2つのフェーズ(歩行フェーズ)に分け、それぞ

Table 13 Average scores in NASA-TLX
NASA-TLX平均得点

得点	高齢者群	若齢者群
精神的要求	42.9	42.3
身体的要求	44.4	41.5
時間的圧迫	41.4	38.4
作業達成度	72.7	66.6
努力	67.2	45.9
不満	36.8	34.3
平均	50.9	44.5

れの動作中での副次課題の反応時間を測定した (Table 12参照)

年齢、高さ、作業床幅、歩行フェーズに関して4要因分散分析を行った結果、歩行フェーズには有意な傾向差が認められ($F(1,3690)=3.378, p<0.10$)、さらに年齢×高さ×歩行フェーズに有意な交互作用が認められた($F(1,3690)=16.13, p<0.001$)。

すなわちFig.22における地上・6層での歩行フェーズ別反応時間結果で示したように、高所で回転動作を行うなど、特に複雑な動作を行う場合、高齢者群において心理的余裕度が低下する危険性が示唆された。

3) NASA-TLX結果

Table 13に、NASA-TLX各尺度の平均評定値について年齢群別に示す。

年齢群間では、全体の平均得点には差がなかった。また下位尺度「努力」(質問文：作業成績のレベルを達成・維持するのに、精神的・身体的にどの程度いっしょうけんめいに作業しなければなりませんでしたか)に有意差が見られたが($t(97)=4.21, p<0.001$)、それ以外の下位尺度は年齢群間で差はなかった。

この結果より、精神的・身体的きつさ、時間的圧迫感、不満感などの主観的評定においては、年齢群間で差は見られなかったが、作業成績を達成・維持するために費やす精神的、身体的努力の程度は、高齢者群は若齢者群より強いと感じていたと考察される。

すなわち主観的評定結果からも、高所で作業床幅が狭い状況下で、複雑な作業動作を要求される環境では、高齢者群にとって、より一層注意集中することが要求されるため、心理的余裕度が低下する可能性が示唆された。

4.4 実験のまとめ

高齢被験者群と若齢被験者群を対象に、高さ(地上と仮設足場6層)、作業床幅(500mmと240mm)、負

荷の有無(歩行と運搬作業)の3条件で実験を行い、歩行動作、生理的負担、心理的負担の面から実験データの解析を行った。

歩行動作の実験結果から、高齢者群の6層歩行時において、作業床幅が500mmから240mmに狭まると速度が有意に低下する結果が得られた。そして作業床幅240mm上の歩行速度の低下を、歩幅の狭まりとピッチ時間の増加の側面から解析すると、ピッチ時間すなわち一步に要する時間が長くなるため歩行速度の低下することが明らかになった。

一方作業床幅240mm上の歩行形態を観察すると、左右の足を真っ直ぐ前方に踏み出すことが出来ず、迂回した踏み出し方を取らなければならない。そして迂回している時間、足は240mm幅の作業床の外側に迫出している。

作業床幅240mm歩行時に一步に要する時間が長く、足が作業床の外側に迫出している時間も長くなることは、バランスを崩し墜落の危険に繋がる歩行形態をとる時間が増加することである。

本実験結果から、作業床幅240mmより500mmの方が、高齢作業者が安定した歩行形態を取りやすいことが明らかになった。

生理的負担の評価実験では心拍数を測定して、生理的負担率(最高心拍数に占める各実験条件の心拍数の比率)を指標とした。

年齢、高さ、作業床幅、負荷の有無を条件とした実験の結果、高齢者群における運搬作業時に生理的負担率の高くなることが明らかになった。その原因は高齢者群では年齢にともない最高心拍数が低下することによる。この結果より、高齢作業者が運搬作業を行う場合、運搬物を軽量化したり、歩行速度を低減したりして、生理的負担率を低下させる必要のあることが明らかになった。

心理的負担の評価実験では二重課題法を用い、副次課題のパフォーマンスをその指標とした。

年齢、高さ、作業床幅、負荷の有無を条件とした実験の結果、年齢・高さ・作業床幅の3要因が加わった時、高齢者群は若齢者群より、副次課題の反応時間が長くなる傾向が見られた。

さらに歩行動作を直線歩行と回転動作の2つの歩行フェーズに分けて、それぞれの動作中での反応時間を測定した結果、高さ歩行フェーズの交互作用において、高齢者群は若齢者群より反応時間が有意に長くなることがわかった。

これらの結果より、高所作業において作業床幅が狭く、作業動作が複雑になるなどの環境条件下では、高齢作業者は若齢作業より心理的負担の増大すること

が明らかになりなった。

以上の実験結果より、高齢作業者が高所で作業する場合において、作業環境の（作業床幅や作業動作などの）安全性をより一層確保する必要性が示された。

5. おわりに

以上、高齢者における高所作業環境の適正化について検討を加えてきたが、本研究から得られた結果の概要は次のようである。

- 1) ビル工事では、高齢作業者が手順を省略したことによる墜落災害が多く、たとえば通路が設置されているにもかかわらず通路外を移動して、開口部の養生不備などが原因で墜落災害が発生している事例が多い。
- 2) 木造工事では、安全帯不携帯・親綱未設置など、基本的な安全要件が欠如した作業環境下で、高齢作業者が1人で働いて墜落災害が発生している事例が多い。
- 3) 高齢・若齢作業員共、ビル建築工事では水平移動時に墜落災害の発生することが多い。そこで仮設足場上で歩行と運搬作業を行わせ、負担の少ない作業環境条件を調べた。
- 4) 高齢作業者が幅の狭い作業床を歩行する場合、一步に要する時間が増大し歩行速度が低下する。さらに狭い作業床の場合、足が作業床から迫出す時間も増大するので墜落の危険に繋がる。そのため作業床の幅は少なくとも360mm以上必要である。
- 5) 高齢作業者が作業床を持って仮設足場上で歩行する場合、若齢者より生理的負担が増加している。作業床の軽量化や歩行速度の低下など、生理的負担の低減策が必要である。
- 6) 二重課題法を用いて、心理的負担を計測する実験を行った結果、高所において作業床幅が狭くなった場合あるいは高所における回転動作時に、高齢作業者は若齢作業員より心理的負担の増加する傾向が見られた。

参考文献

- 1) 働く人の安全と健康，中央労働災害防止協会，Vol.4，No.6，p.81，(2003)
- 2) 安全衛生年鑑（平成13年版），中央労働災害防止協会発行，(2001)
- 3) 建設業安全衛生年鑑（平成14年版），建設業労働災害防止協会発行，(2002)
- 4) 安全衛生年鑑（平成12年版），中央労働災害防止協会発行，(2000)
- 5) 鈴木芳美，臼井伸之介，江川義之，庄司卓郎，建設工事における墜落災害の人的要因に関する多変量統計解析，産業安全研究所研究報告，NIIS-RR-97，pp.17-26（1998）
- 6) 垣本由紀子，航空自衛隊員の身体計測値（装備品など設計のための人間工学的資料，1988年測定），航空開発実験集団航空医学実験隊（1990）
- 7) 江川義之，臼井伸之介，高所作業における生理・心理的負担，産業安全研究所特別研究報告，NIIS-SRR-NO.22，pp.15-24（2001）
- 8) P.O.オストランド，K.ラダール，朝比奈一男監訳，浅野勝己訳，運動生理学，大修館書店，(1982)
- 9) 小野三祠，運動の生理科学，朝倉書店，(1978)
- 10) Usui S., Egawa Y., Psycho-physiological analysis of mental workload at a high-elevated work place, Japanese Psychological Research, Vol.44, No.3, pp.152-161 (2002)
- 11) 三宅晋司・神代雅晴，メンタルワークロードの主観的評価法 - NASA-TLXとSWATの紹介および簡便法の提案，人間工学，Vol. 29, pp.399-408 (1993)
- 12) 芳賀繁，メンタルワークロードの理論と測定，日本出版サービス，(2001)
- 13) Welford A. T., Reaction Times, Academic press (1980)

(平成15年8月11日受理)