

MEASURING MENTAL WORKLOAD ARISING FROM MENTAL-SET SWITCHING

Kazumitsu Shinohara
Graduate School of Human Sciences, Osaka University
sinohara@hus.osaka-u.ac.jp

The purpose of this study is to measure the subjective mental workload when subjects perform a mental-set switching. Subjects were asked to switch between word reading and color naming in response to Stroop stimuli, and they evaluated their subjective mental workload by the NASA-TLX procedure. Results show that the NASA-TLX procedure is sensitive to the subjective mental workload increased by the demand to switch mental-sets.

INTRODUCTION

Advances in information technology have enabled us to obtain enormous amounts of information and to execute several tasks concurrently. The capacity of human information processing, however, has a limit. Thus, it is very important to design a task demand that does not exceed this limit.

In a multi-task environment, each task often requires a mental-set, which is specialized and necessary for performing it. To perform tasks concurrently, operators have to switch (or time-share) several mental-sets. This control process has drawn a lot of attention in the domain of cognitive psychology, and several models of cognitive control have been proposed (e.g. Norman and Shallice, 1986). This switching process is usually so difficult and attention-demanding that a decrement of performance, a "shift cost," is often observed when a switching is executed.

In the present study, the subjective mental workload is measured when subjects perform a task with a switching of mental-sets. The NASA-TLX procedure (Hart and Staveland, 1988) is adopted to measure the subjective mental workload.

METHOD

Subjects. 20 graduates and undergraduates, aged from 20 to 29 (the average was 23.7), participated in the experiment.

Apparatus. The Cedrus SuperLab2.5 was used for the experiment. The vocal responses were monitored with a microphone connected to the PST Serial Response Box.

Task. In the Stroop task, a word which means color was presented (e.g. RED, BLUE). When the ink color was different to the name of the color, naming the color was slower and less accurate than reading the word. This is often called the Stroop interference. Under a condition that

included a mental-set switching, subjects were asked either to name the color of the word or, alternatively, to read the word. This type of task switching task has been adopted in the preceding studies (e.g. Allport, Styles, and Hsieh, 1994).

Conditions. Five conditions listed below were used, and each subject experienced all of them. During the experimental session, subjects performed the Stroop task under each condition in separate blocks. Each block included 100 trials.

- 1) The Color Condition (C): A color patch (red, blue, yellow, or green) was displayed on the CRT monitor and subjects named the ink color.
- 2) The Word Condition (W): A color word written in white was displayed and subjects read it.
- 3) The Color-Word Condition (CW): A color word printed in different color was displayed and subjects named the ink color. Stroop interference was expected to occur in all trials.
- 4) The Switching in Interval of Two Trials condition (SW2): A color word printed in a different color was displayed. Subjects read the word or named the ink color. They switched between word reading and color naming in intervals of two trials.
- 5) The Switching in Interval of Five Trials condition (SW5): Stimuli and the subjects' task were the same as in SW2, except that subjects had to switch in intervals of five trials.

In this study, two types of task demand increasing mental workload were controlled systematically: the demand coping with the Stroop interference and the demand of mental-set switching. The Stroop interference occurred in all trials under the CW condition, whereas it occurred in half

the trials under both the SW2 and SW5 conditions. Subjects had to switch their mental-set 48 times under the SW2 condition, whereas they only had to switch their mental-set 17 times under the SW5 condition. Under the CW condition, however, the subjects did not have to switch their mental set at all.

Mental workload measurement. In this experiment, Japanese version of the NASA-TLX (Haga and Mizukami, 1996) was employed. The NASA-TLX contains six dimensions: mental demand, physical demand, time pressure (temporal demand), performance, effort and frustration. After a practice session, a procedure to order dimensions with contribution to the workload was conducted in order to give a weight to each dimension.

RESULTS

MWL Score. The Mental Workload (MWL) score was calculated based on the ratings and the weights of each dimension. A one-way, within-subject ANOVA conducted on the MWL Score indicated that the main effect of a condition was significant ($F(4,76)=23.58, p<0.001$), and the HSD test indicated that the MWL scores under the SW2 and the SW5 conditions were significantly higher than that under the CW condition. The MWL scores under the W and C conditions were significantly lower than that of the CW condition. These results indicate that the demand for mental-set switching increases the mental workload more than the demand for coping with the Stroop interference.

Sub-scales. One-way within-subject ANOVAs were conducted on the ratings of each dimension. The ratings for Mental Demand were significantly higher under the SW2 and SW5 conditions than under others ($F(4,76)=37.20, p<0.0001$). For dimensions other than Physical Demand, ratings were significantly higher under the conditions that included Stroop interference and/or mental-set switching (SW2, SW5 and CW) than under the W and C conditions ($F_s>6.12, p<0.0003$). The rating for Physical Demand was

not affected by the condition.

CONCLUSION

The present study suggests that the NASA-TLX procedure is very sensitive to the demand of mental-set switching. However, neither the MWL score nor the ratings for each dimension can detect the difference in the amount of mental-set switching (i.e. the difference between SW2 and SW5). It is necessary to develop a procedure for subjective mental workload assessment that is sensitive to the variation of the mental-set switching demand.

REFERENCES

- Allport, D.A., Styles, E.A., and Hsieh, S. (1994). *Shifting intentional set: Exploring the dynamic control of tasks.* In C. Umiltà and M. Moscovitch (Eds.), *Attention and performance XV: Conscious and nonconscious information processing.* Cambridge, MA: MIT Press. pp.421-452.
- Haga, S. and Mizukami, N. (1996). Japanese version of NASA Task Load Index: *Sensitivity of its workload score to difficulty of three different laboratory tasks.* Japanese Journal of Ergonomics, 32, 71-79 (In Japanese with English abstract).
- Hart, S. and Staveland, L. 1988 Development of NASA-TLX (Task Load Index): *Results of Empirical and Theoretical Research, in Human Mental Workload.* P. Hancock and N. Meshkati, Eds. Amsterdam: North Holland B.V, 1988, pp. 139-183.
- Norman, D.A. and Shallice, T. (1986). *Attention to action: Willed and automatic control of behaviour.* In R. Davison, G. Schwartz, and D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self regulation: Advances in research and theory.* Vol.4, New York: Plenum, pp. 1-18.

Table 1. Average scores and weights of mental workload obtained by the NASA-TLX procedure for each condition.

Condition	Sub-Scales (dimensions)						MWL Score
	Mental Demand	Physical Demand	Time Pressure	Performance	Effort	Frustration	
C	36.4	25.5	41.9	38.7	46.7	42.3	36.4
W	28.5	29.0	32.1	38.1	36.5	30.7	30.1
CW	59.9	24.4	48.4	52.8	52.8	58.7	49.0
SW5	78.8	28.1	64.8	62.5	70.3	74.1	63.4
SW2	77.4	33.1	64.0	60.5	70.0	75.5	63.1
Weight	92	29	93	69	57	80	

3. 高所作業における生理・心理的負担要因*

江川義之**, 白井伸之介***

3. An Analysis of Physiological and Psychological Workload for Workmen on Scaffolding*

by Yoshiyuki EGAWA** and Shin-nosuke USUI***

Abstract: In Japan, the number of deaths in construction work is reckoned 794 victims in 1999 and 37% of these victims were caused by falling from high elevated work place like scaffoldings. So, in order to establish the ergonomic countermeasures against these falling accidents in construction work, an analysis of physiological and psychological workload for workmen on scaffolding was carried out.

Main results of these experiments were as follows:

- (1) Walking speeds of unprofessional persons were 1.0m/sec on the ground and 0.6m/sec on the scaffoldings (the height of 10.8m). However, the walking speed of professional worker was 0.9m/sec both on the ground and the high place of 10.8m.
- (2) In the walking situation (at the height of 10.8m) for the difference of walking plate width, walking speeds were investigated. Unprofessional persons' speeds were 0.6m/sec on the plate width of 50cm and 0.3m/sec on the width of 24cm. Professional workmen's speed like spider-man was 0.9m/sec on both walking plates' width.
- (3) Mental workload in walking at the height of 10.8m was examined by dual task method. Mental workload of unprofessional persons increased on high elevated place, but no increase was indicated in the results from professional workmen.
- (4) For stable walking posture and less-load to the foot, walking plate width of wider than 40cm was necessary.
- (5) In walking on the scaffolding, footprint angles of 30 degrees or more were observed for several spider men. It was cleared that this walking style was very strong against impulsive side force.
- (6) Since the scaffolding frame height was 1.7m, forward-bent walking postures were observed in walking on the scaffolding. The workmen of 1.75m or more in stature walked with 30-45 angles of forward-bent postures.
- (7) It was answered that the professional workmen preferred cross type handrail to that of parallel type.

Keywords; Falling accident, Human error, Working load, Construction work, Scaffolding, Electro myogram, Secondary task, Response time

* 平成9年5月 日本人間工学会第38回大会において本研究の一部を発表した。

** 機械システム安全研究部 Mechanical and System Safety Research Division
境界領域研究グループ Interdisciplinary Research Group

*** 大阪大学人間科学部 Faculty of Human Sciences, Osaka University

1. はじめに

平成 11 年度の労働災害統計¹⁾によると、全産業における労働災害死者数は 1992 人であり、そのうち建設業における死者数は 794 人で、39.9%を占めている。794 人のうち 37.3%が墜落・転落災害による死者数であり、高所作業は最も危険な作業のひとつに挙げられている。さらに墜落災害死者数はこの 10 年間ほとんど変化しておらず、その防止は重要な課題となっている。

そこで本稿では、高所作業における生理・心理的負担要因に着目して、足場上での歩行特性、足場の上層と下層で物の受渡しをする時の作業姿勢、鳶が好む手摺の形状などについて、当研究所で行った実験結果を報告する。この実験の結果、ベテランと言われている鳶でも、かなり危険な作業姿勢が観察されることが明らかになり、墜落防止対策の重要性が指摘された。

2. 高所作業における作業者の生理・心理的負担

足場板上の歩行時における、あるいは足場の上層と下層で物の受渡しをする作業時における、作業者の生理・心理的負担、さらには足場に設けてある手摺が作業者に与える安心感等を明らかにするために研究を行った。すなわち、足場上の歩行特性については、ビデオを用いて歩行速度、筋電図を用いて足の運び方、姿勢モニターを用いて歩行姿勢、二重課題法を用いて高所歩行時の精神的負担を計測した。足場上の作業特性については、ビデオと姿勢モニターを用いた計測を行い、墜落危険性をともなう作業姿勢の検討を行った。さらに作業者に安心感を与える手摺の形状については、現職の鳶を対象にアンケート調査を行った (Table 1 参照)。

上記の様々な視点からの調査研究を行うにあたり、まず当研究所では実際に仮設足場を組立て、その上で常時働いている鳶 (以下、熟練者という) と全く経験のない未熟練者を被験者に用いて、高所作業における生

理・心理的負担を解明し、作業改善へと繋げていくための実験的研究を行なった。

Fig. 1 に仮設足場の正面図と側面図を示す。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) の枠組足場を組立て、この仮設足場上 (Fig. 1 の太い横線部分) で歩行および作業を行わせ、層高さや足場板の幅が異なることによる生理・心理的負担の相違を実験的に調べた (Photo 1 参照)。

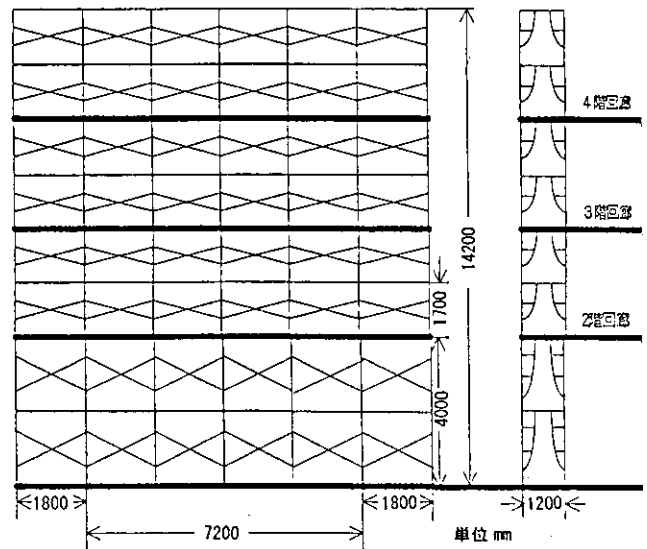


Fig. 1 The front and side views of the scaffold. 仮設足場の正面および側面図

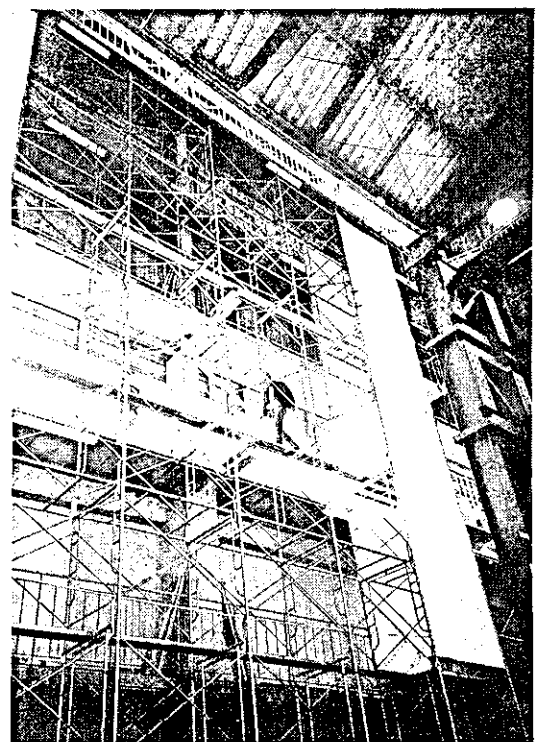


Photo 1 An experiment on the scaffold. 仮設足場上での実験

Table 1 Measurement items and instruments. 測定項目と計測装置

調査項目	測定評価項目	計測装置
仮設足場上の歩行特性	歩行速度	ビデオ
	足の運び方	筋電図
	歩行姿勢	姿勢モニタ
	精神的負担	二重課題法
作業特性	危険な作業姿勢	姿勢モニタ
手摺の形状	作業しやすい形状	アンケート

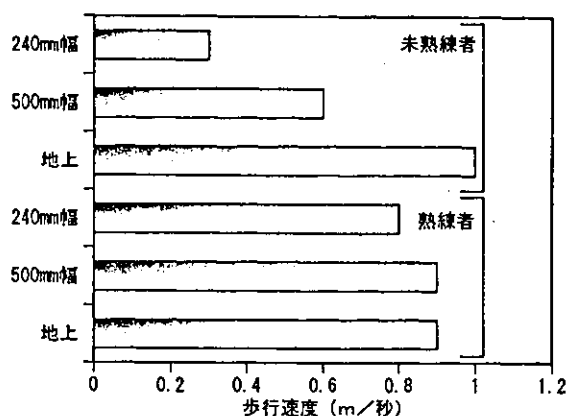


Fig. 2 Walking speed on the scaffold.
足場上の歩行速度

3. 仮設足場上の歩行特性

3.1 歩行速度

熟練者 10 名 (平均年齢 26.2 歳, 平均経験年数 5.6 年) と未熟練者 7 名 (平均年齢 26.3 歳) を対象にして, 地上および 6 層 (10.8 m) での歩行速度を, 足場板の幅を変えて調べた。

足場板上を左右に往復させ, その模様をビデオで記録した。そして U ターンする左右のスパン部分を除いた中間 4 スパンの直線部分を歩いている時の歩行速度をビデオテープから算出した。

層高さについては, 地上と 6 層 (10.8 m) を, 足場板幅 50 cm を歩行させて比較すると, 熟練者は地上歩行も 6 層歩行も歩行速度 0.9 m/秒で変化はなかった。しかし未熟練者は地上歩行が 1 m/秒で 6 層歩行が 0.6 m/秒と, 地上より 10.8 m の高さでは歩行速度が遅くなるのが観察された。

この原因は, 熟練者の場合 10.8 m 程度の高さでは恐怖を感じていないので, 歩行速度の相違は現われなかったと考えられる。ちなみに熟練者のうち数人は, 恐怖を感じるのは高さ 25 m 以上で強風の場合であると答えた。一方, 未熟練者の場合, 6 層歩行では恐怖を感じると答えており, 手摺や鳥居型建柱などを掴まないと歩行出来ない状態であった。

6 層歩行で足場板の幅が異なる (50 cm 幅と 24 cm 幅) 場合については, 熟練者は 24 cm 幅になって歩行速度が 0.1 m/秒低下しただけであったが, 未熟練者は 50 cm 幅では 0.6 m/秒, 24 cm 幅では 0.3 m/秒と, 足場板の幅が 50 cm から 24 cm に変わるにより歩行速度が半減した。

これらの計測結果に対して 1 要因分散分析を行った結果, 熟練者では有意差が見られなかったが, 未熟練

者では 0.1% の危険率で, 地上 50 cm 幅, 24 cm 幅の歩行速度間に有意差が見られた。すなわち未熟練者に高い足場・狭い足場を歩行させると極端に歩行速度が低下するが, 熟練者にはその傾向は認められなかった (Fig. 2 参照)。

3.2 6 層歩行時における精神的余裕度

熟練者と未熟練者を対象に, 6 層歩行時の精神的余裕度について副次課題法を用いて調査を行った。副次課題法とは歩行時に歩行とは全く別の (副次的) 課題を与え, その成績の良否から精神的余裕度の有無を推定する方法である。

この実験における副次課題は, 2 秒に 1 数字の割合でランダムにスピーカから流れる数字 (3 から 9 までの 7 数字) のうち特定の数字 (3, 5, 9) が聞こえた時のみ, 出来るだけ早く「はい」と声で応答する課題であり, その反応時間をボイススイッチで計測した。被験者に呈示した聴覚刺激は, あらかじめ AV タキストスコープ (岩通アイセル社製 IS-701D) に登録した数字である。

さらに被験者の歩行状態と反応時間を示すカウンタとを 2 台の監視カメラで撮影して, 画像ミキサーで合成して VTR に記録した (Fig. 3 参照)。

Fig. 4 に副次課題平均反応時間の結果を示す。熟練者においては反応時間の延長は認められなかったが, 未熟練者においては, 歩行場所の高さや足場板幅の相違において顕著な反応時間の延長が認められた。これらの結果に対して 1 要因分散分析を行うと, 熟練者では有意差が見られなかったが, 未熟練者では 10% の危険率で地上—6 層 (50 cm 幅) 間に, さらに 0.1% の危険率で地上—6 層 (24 cm 幅) 間と足場板幅 (50 cm—24 cm) 間に有意差が見られた。これらの結果より, 未熟練者に高い足場あるいは狭い足場板上を歩行させると, 歩行に神経を集中せざるを得なくなり余裕度が少なくなることが明らかになった。

次に熟練者のみを対象に, 歩行動作を直線歩行と U ターン (Fig. 1 の中間 4 スパン両端の足場板上での回転動作) 歩行に分類し, それぞれの歩行における副次課題平均反応時間を調べた。Fig. 5 にその結果が示してあり, 回転時には反応時間の延長が認められた。この結果を (足場の幅 × 動作の種類) の 2 要因分散分析を行った結果, 動作の種類 ($F(1, 1094) = 7.41, p < 0.01$) 及び足場の種類と動作の種類 ($F(2, 1094) = 3.58, p < 0.05$) に有意差が認められ, さらに足場板 24 cm 歩行時における直線歩行と U ターン歩行時の平均反応時間に有意差 ($p < 0.001$) が認められた。この結果より, 熟練者であろうとも足場板上で方向転換を行う際には, 足元

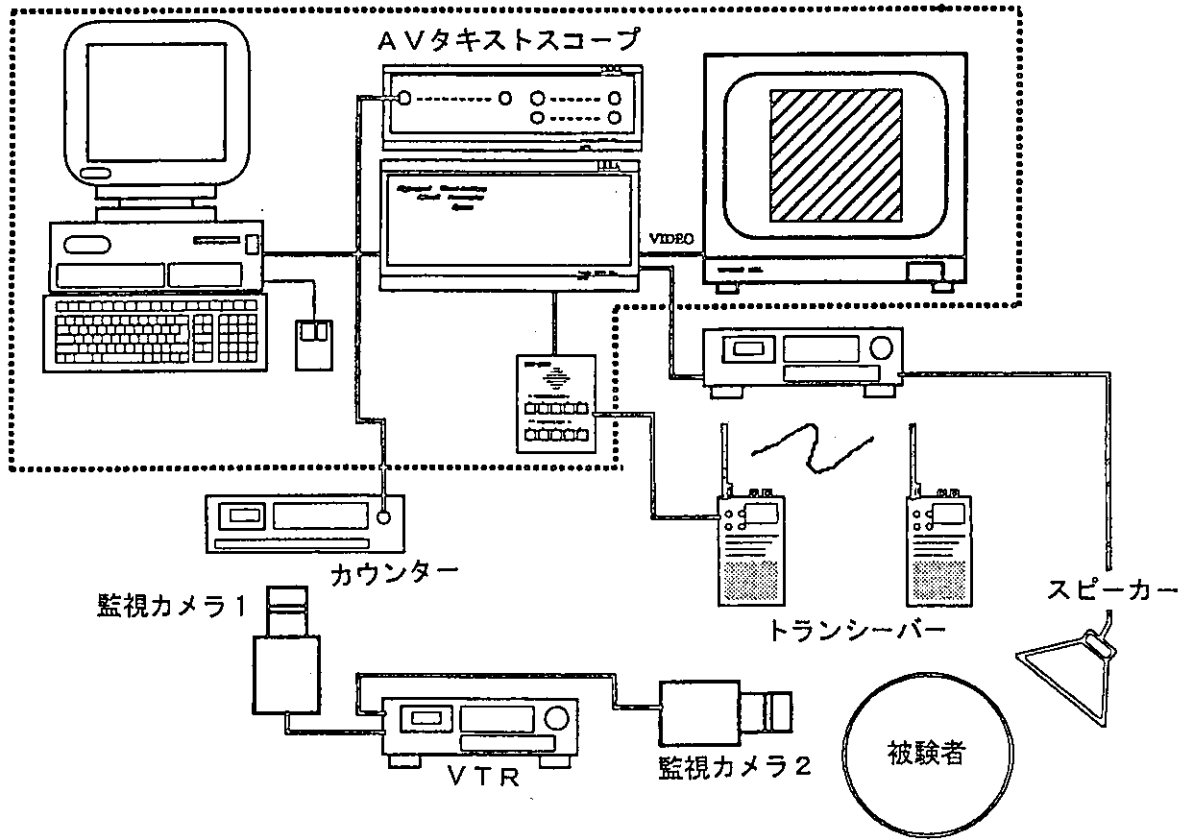


Fig. 3 Measurement system for mental working load.
精神的余裕度測定システム

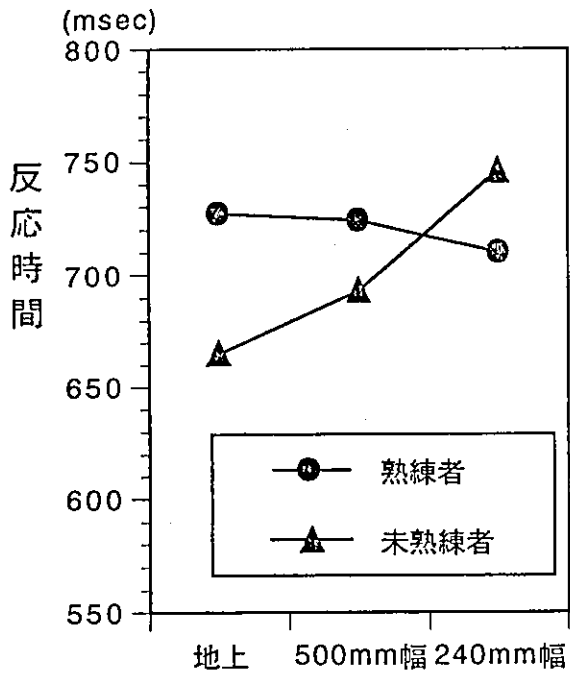


Fig. 4 Response time of secondary task.
副次課題の反応時間

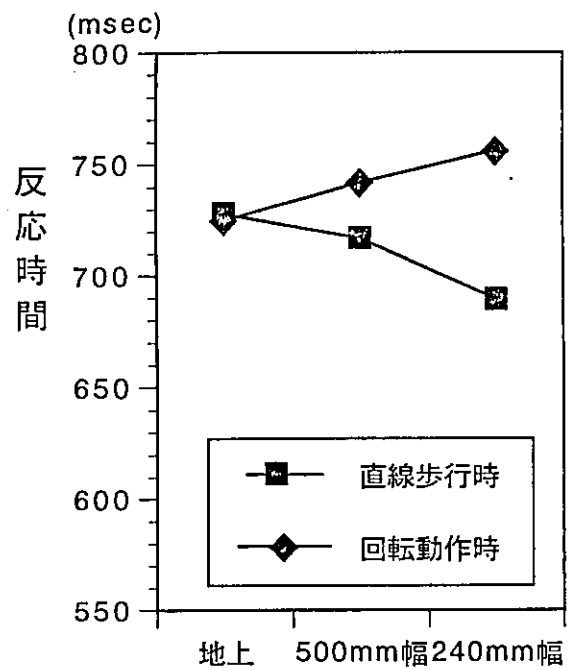


Fig. 5 Response time for each walking action.
各歩行動作における反応時間 (熟練者のみ)

に注意を払う、バランスをとる等の理由から一時的に精神的余裕度が少なくなることが明らかになった。

3.3 歩行時に必要な足場板の幅

足場板の幅が狭くなると歩き方がぎこちなくなり、前述したように未熟練者の場合には歩行速度も低下する。そこで、歩行時に必要な足場板の幅を調べるために、未熟練者と熟練者を対象に筋電図²⁾を用い歩行動作を調べた。

Fig. 6 に示したように、歩行動作とは足底が床を踏みしめたり、床から浮いたりするサイクルを繰り返す動作である³⁾。そして床を踏みしめている時間を立脚期、床から浮いている時間を遊脚期という⁴⁾。そこで足場を歩く時、筋電図の電極を前頸骨筋に貼付して遊脚期と立脚期における足にかかる負担を計測した。前頸骨筋とは、足の脛の外側に位置する筋肉 (Fig. 6 参照) であり、遊脚期に電位を放電する筋肉である。

Fig. 7 に示したように、成人の歩行動作に比較して赤ん坊の歩き始めはヨチヨチときこちない歩行動作を示す。そして、このぎこちない歩行動作で前頸骨筋の放電位が高いことが知られている⁵⁾。すなわち前頸骨筋の筋電図は歩く時のぎこちなさを示す指標である。

Fig. 8 に前頸骨筋の筋電波形を示す。振幅が大きい所が足底の床から浮いている遊脚期であり、この遊脚期において筋電波形は2相に分離する。すなわち第1相目は蹴出しの離陸直後に放電し、第2相目は踵から接地する直前に放電する。そこで、この筋電波形の放電の強さとパターンの乱れを手掛かりとして、足場板

上歩行時の足にかかる負担を調べてみた。

Fig. 9 に足場板歩行時の筋電波形を示す。6層とは10.8mの高さを、4層とは7.4mの高さを、2層とは4.0mの高さを歩行した時の筋電図であるが、層高さにおい

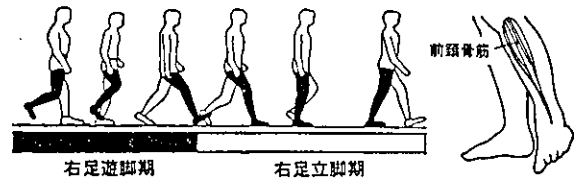


Fig. 6 Walking cycle of right leg. 右足の歩行サイクル

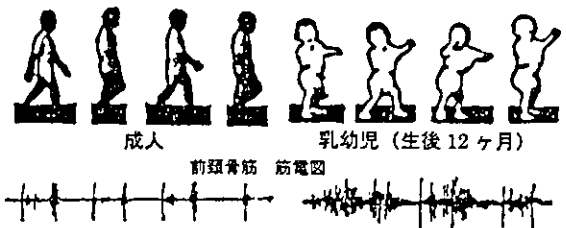


Fig. 7 Difference of walking between adult and baby. 成人と乳幼児の歩き方の相違

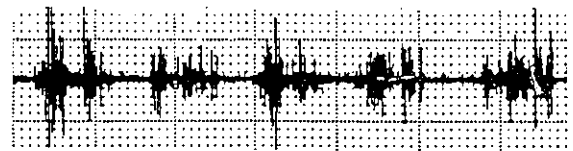


Fig. 8 Electro myogram of anterior-tibia muscle. 前頸骨筋の筋電図

層	作業床幅	筋電波形
6層	500mm	
	240mm	
4層	500mm	
	240mm	
2層	500mm	
	240mm	

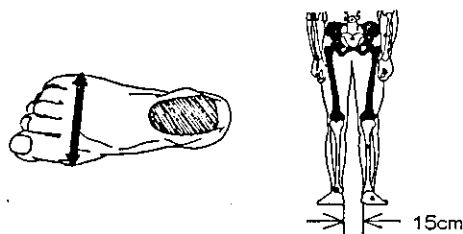
Fig. 9 Electro myogram wave patterns in walking on scaffold. 足場上歩行時における筋電波形

ては筋電波形に振幅の相違が見られない。しかし足場板の幅を変化すると筋電波形に振幅の相違が見られ、50 cm 歩行時より 24 cm 歩行時の方が前頸骨筋の筋電位は増加している。さらに 24 cm 歩行時には、前述した遊脚期における 2 相分離 (Fig. 8 参照), すなわち蹴出しの力強さと接地の衝撃が明確に現れていない。これらの現象は熟練者および未熟練者においても同様に観察された。

そこで、1 歩ごとの遊脚期における波形積分値を求めて (層の高さ×足場板幅) の 2 要因分散分析を行った結果、層の高さに関しては有意差が認められなかったが、足場板の幅に関しては 1% の危険率で有意差が認められ、24 cm 歩行時は 50 cm 歩行時に比較して波形積分比が約 2 倍であった。

次に、筋電波形にこのような現象が観察された原因について考察する。

Table 2 Mean and standard deviation of Japanese foot-breadth.
足幅の平均と標準偏差



Foot breadth	Male	Female
Mean	10.42 cm	9.57 cm
S.D.	0.46 cm	0.44 cm

(航空自衛隊員の身体計測値より)

Table 2 は日本人の足幅と左右の足の間隙を示した図である⁶⁾。日本人男性の足幅は平均で約 10.5 cm あり、左右の足を隙間なく合わせた時、2 倍の 21 cm 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 15 cm 程度開けなければならない。歩行するには足幅と間隙を合わせ最低でも 36 cm の幅が必要である。

Fig. 10 に示したように、足場板の幅が 50 cm であると、左右の足を真っ直ぐ前方に踏出すことが出来る。しかし、足場板の幅が 24 cm では、左右の足が接触し真っ直ぐ前方に踏出すことが出来ず、迂回した踏出し方をとらざるを得ない。これが足場板の幅が 24 cm の時において遊脚期の前頸骨筋の放電増加現象⁷⁾として観察される。

さらに遊脚期において、足は足場板の外側に迫出すため、足の蹴出し及び接地を地上歩行のように勢い良く行うことが出来ない。これが遊脚期における 2 相分離の明確に現れてこない原因である。



Photo 2 Difference of footprints.
着地の相違

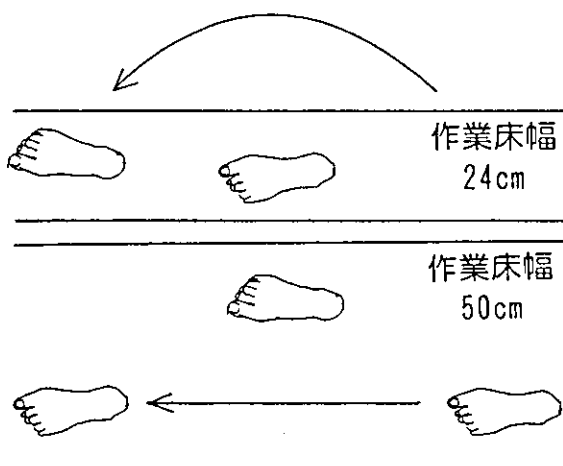


Fig. 10 Walking style on the scaffold.
足場上の歩行形態

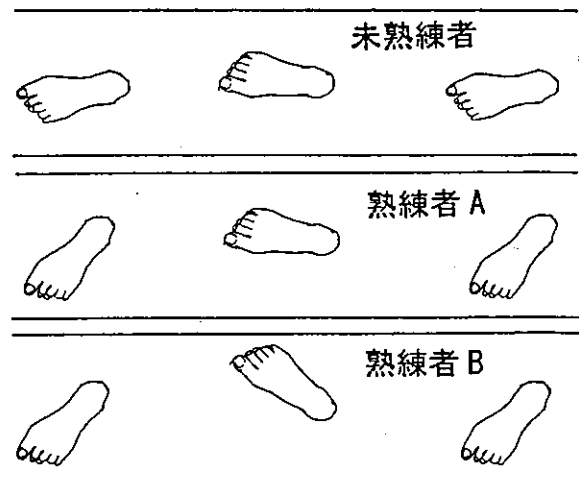


Fig. 11 Difference of footprint between layman and spider-man.
未熟練者と熟練者における足の着地の相違

前述したように、足場幅が24 cmになると、遊脚期において足を足場板の外側に迫出した踏出し方をとらざるを得ない。これが未熟練者の場合さらに恐怖感を増加させ、歩行速度を低下させる原因と考えられる。すなわち、筋電図が示したように、前頸骨筋に負担をかけない安定した歩行動作をとるためには、少なくとも足場板の幅は40 cm以上あることが必要である。

次に、足場上の歩行動作を観察していた時、熟練者のうち数人に独特な足の着地が見られた。そこでその着地について未熟練者と比較して示す。

未熟練者はPhoto 2左写真に示したように、足場板とほぼ平行に足を着地している。しかし熟練者は右写真で示したように、つま先を外側に開いて着地している。この相違について歩行角を用いて説明すると次のようになる。

歩行角とはつま先と踵を結ぶ線が進行方向中央線となす角度で表わされ、未熟練者が自然歩行した場合、この角度が約15度外側を向き、これは膝より下の距腿関節軸の外旋と、膝より上の大腿頸骨部の前捻とが合わさり15度の角度を作り上げる⁷⁾。これに比較してFig. 11で示したように、熟練者が足場上を歩行している時は約30度以上の歩行角を作り上げている。これも「熟練者A」のように一方の足のみの歩行角を大きくしている者と「熟練者B」のように両足の歩行角を大きくしている者が観察された。

歩行角を自然歩行時の15度より倍の30度以上にして歩くことは、前述したように距腿関節軸の外旋と大腿頸骨部の前捻に若干の負担が加わるが、足場上の歩行時において、進行方向に垂直な横からの衝撃力が加わった際の、墜落危険性を考慮した上での歩行であると考えられ、熟練者が経験を積むに従って独特な歩行形態を生み出したものと思われる。

3.4 歩行時に見られる前屈姿勢

Fig. 1に示したように枠組足場の支柱ユニットの高さ、すなわち1層の高さは1.7mである。身長が高いと頭がつかえるので前屈して歩かなければならない。そこで身長と前屈角の関係についてPhoto 3に示した姿勢モニターを用いて調べた。

Fig. 12に示したように、身長1.65mから5~10度の前傾姿勢が観察され、身長1.75m以上になると30~45度の前傾姿勢で歩行するのが観察される。身長1.65mは支柱ユニットの高さ1.7mより低い、ヘルメットを着用しているため5~10度屈曲した姿勢で歩行している。

身長と前屈角の関係について相関を調べると、相関係数は $r = 0.99$ であり、危険率0.1%で有意差があった。

さらに身長と前屈角の回帰式を求めると、式(1)の関係が得られた。

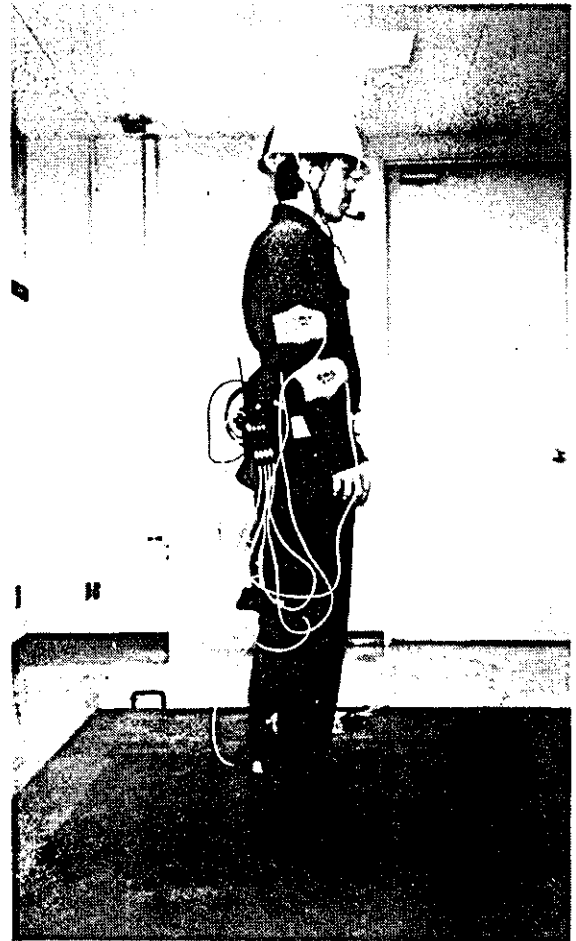


Photo 3 Monitor for working posture.
作業姿勢モニター

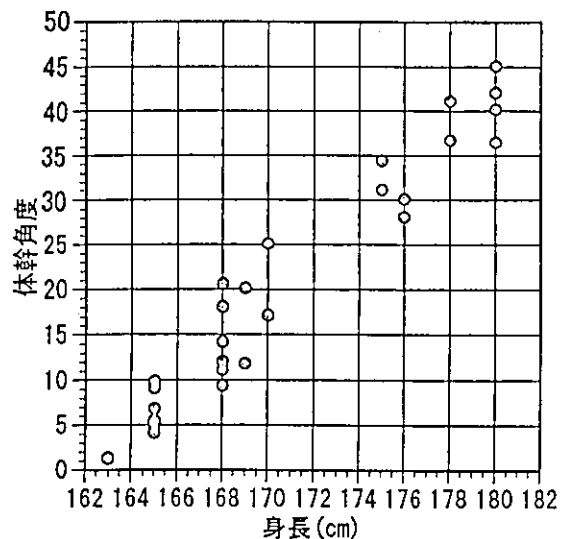


Fig. 12 Relation between stature and forwardbent posture angle.
身長と前屈角の関係

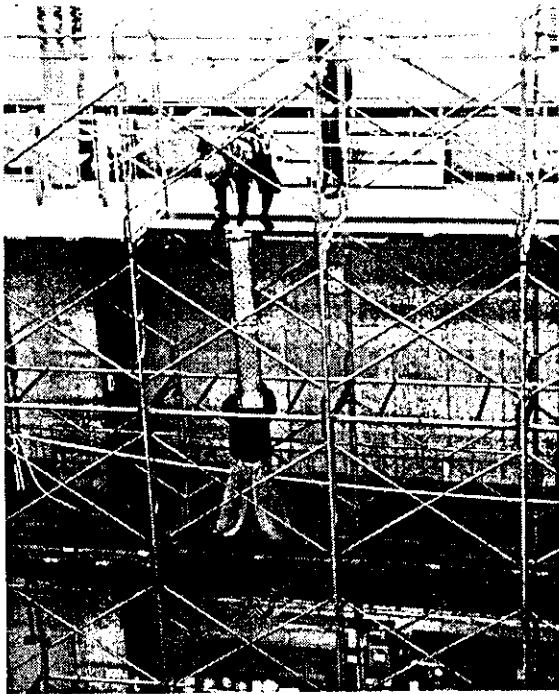


Photo 4 Hand transportation work from lower stage to upper stage.
足場の下層から上層に足場板を運ぶ作業

$$Y = 2.3 X - 375 \quad (1)$$

X : 身長 (cm), Y : 前屈角 (degrees)

平地歩行でも同様であるが、前傾姿勢は視点が足元
にのみ留まり視野を狭くする。歩行時において障害物
の有無などを確認するため、時々前方に視線を移す工
夫が必要である。

4. 仮設足場上の作業特性

2層と4層の足場上にいる2人の作業者が、足場板
を2層から4層に手渡して持上げる作業動作 (Photo
4 参照) の前屈角を姿勢モニターを用いて計測した。

Fig. 13 に示した計測結果によると、2層にいる作業
者に比較し4層にいる作業者の前屈角の増加が観察さ
れる。4層作業者は作業時間の約50%は体幹を60度以
上前屈させて作業をしている。足場板を2層作業
者から受取り持上げようとする時、前屈角が60度以上
になるが、この時に熟練者でも墜落につながりやす
い危険な作業姿勢が観察された。

Fig. 14 に4層作業者の足場板受渡し姿勢を示す。
(A) 姿勢は大腿と下腿の角度が広いため腰の位置が
高く、そのため臀部より頭部が低い姿勢である。(B)
姿勢は大腿と下腿の角度を狭くし腰を低くし、その
ため臀部より頭部が高い姿勢である。(A) 姿勢は臀
部より頭部が低い位置にあるため (B) 姿勢より安
定性を欠

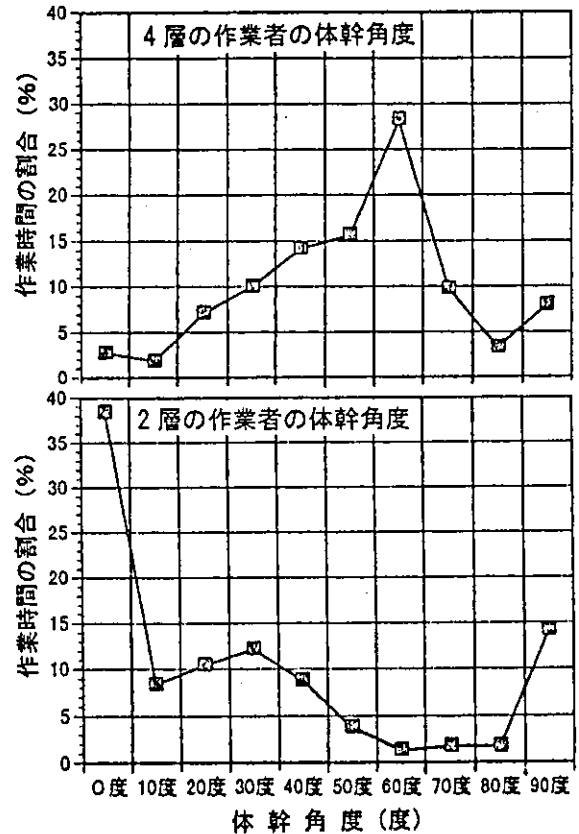


Fig. 13 Difference of forwardbent posture angles in carriers on upper and lower stages.
上層と下層にいる作業者の前屈角

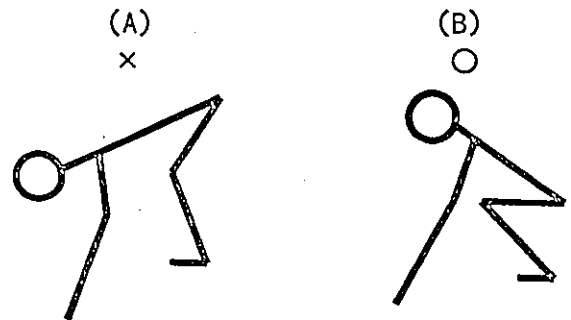


Fig. 14 Working posture of hand transportation work.
足場板の手渡作業に見られた作業姿勢

き、後方より押された場合に墜落危険性をともなう作
業姿勢を形成している。

上層にいる作業者が下層にいる作業
者から物を受渡される時、(A) のような墜落危険性をともなう姿勢を
とる理由は2つ挙げられる。ひとつは上層作業者が、1
回ごとに膝を折り腰を落とす作業動作を面倒くさいと
感じ、膝を伸ばしたままで物を受取るようすること、他
のひとつは下層作業者が物を高く持上げなかったため、
上層作業者が必要以上に手を下に伸ばさなければなら
ないことによる。



Photo 5 Handrail (cross type).
交差筋交

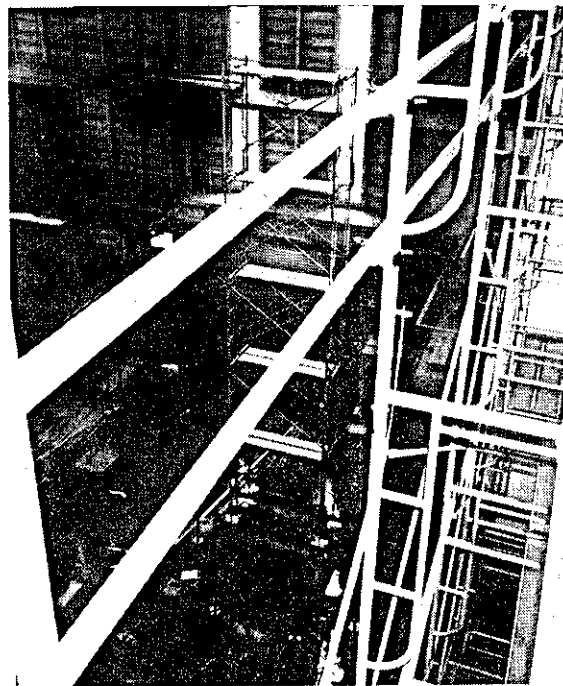


Photo 7 Handrail (two pipes at height of 90 & 45 cm).
90 cm と 45 cm にパイプ 2 本渡した形状

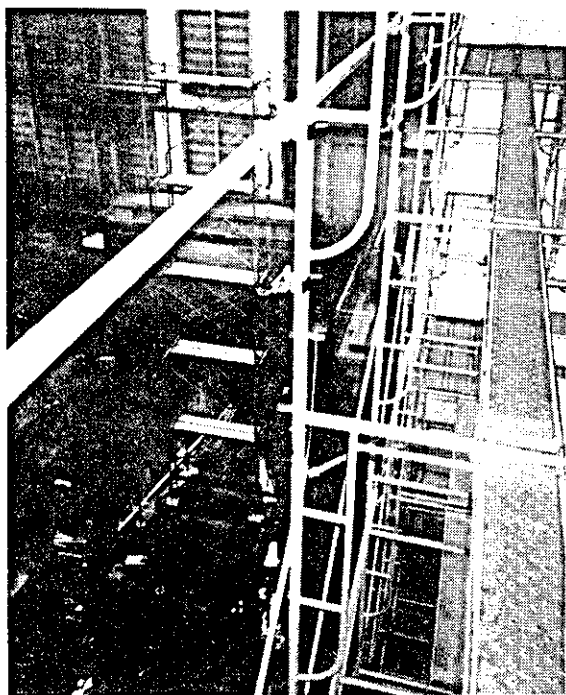


Photo 6 Handrail (one pipe at a height of 90 cm).
90 cm にパイプ 1 本渡した形状

上層作業者は、膝を折ることにより大腿と下腿の角度を狭くして腰の位置を低くし (B) のような作業姿勢を採ることを心がける必要があるが、同時に下層作業者も受渡す物を高く持上げる配慮が必要である。

5. 熟練者が好む手摺の形状

最後に熟練者が好む手摺の形状について述べる。

足場には交差筋交 (Fig. 1 ×部分) が設けられ、足場構造における強度を支援している。一方作業者は、これを手摺代わりに用いて作業に役立てている。そこで最適な手摺形状を調べるために、熟練者を対象にしてアンケート調査を行った。

手摺として、交差筋交 (Photo 5 参照)、足場板に平行に 90 cm の高さにパイプを 1 本渡した形状 (Photo 6 参照)、90 cm の高さに加えさらに 45 cm の高さにもう 1 本パイプを加えた (90 cm+45 cm) 形状 (Photo 7 参照) の 3 形状で、「作業が最もしやすいと感じる手摺」と「バランスを崩した時最も掴みやすい手摺」について調べた。

Table 3 と Table 4 にその結果を示した。

作業が最もしやすいと感じる手摺として、全体的に交差筋交を指摘した熟練者が多かった。ただ「下からの持上作業」において (90 cm 1 本) の評価が高かったのは、この形状は開口部が大きく 90 cm 高のパイプを掴み、身を乗出す姿勢がとれることに原因があると思われる。

バランスを崩した時最も掴みやすい手摺についても、全体的に交差筋交を指摘した熟練者が多かった。ただ「座り作業」において (90 cm+45 cm) の評価も交差筋交と同様に高いのは、座り作業でバランスを崩した時

Table 3 The handrail which is preferable to work.
作業が最もしやすいと感じる手摺

	外壁塗装	下からの持上	座位作業	立位作業	足場板運搬
手摺なし	0%	30%	0%	0%	20%
交差筋交	60%	30%	60%	80%	70%
90 cm 1 本	10%	40%	10%	10%	0%
90 + 45 cm 2 本	30%	0%	30%	10%	10%

Table 4 The handrail which is easy to grasp at the moment of being thrown off balance.
バランスを崩した時、最も掴みやすい手摺

	外壁塗装	下からの持上	座位作業	立位作業	足場板運搬
交差筋交	60%	50%	50%	70%	70%
90 cm 1 本	20%	30%	0%	10%	20%
90 + 45 cm 2 本	20%	20%	50%	20%	10%

45 cm 高のパイプに掴まれるためであると思われる。

このアンケートを実施する以前、我々は (90 cm+45 cm) の手摺が作業性および安全性の面から最適な形状ではないかという仮説を抱いていた。しかし、足場上で様々な姿勢をとり、長年作業を経験してきた熟練者にアンケートを実施してみると、交差筋交を好ましい手摺形状と指摘する結果が得られた。

6. おわりに

以上、高所作業における歩行および作業特性について検討を加えてきたが、今回の実験から得られた結果の要点は次のようである。

- (1) 未熟練者は地上での歩行速度が 1.0m/秒で、10.8m 高の足場板上での歩行速度が 0.6m/秒であった。しかし熟練者はどちらも 0.9m/秒で歩行速度に変化がなかった。
- (2) 10.8m 高の足場板上の歩行で足場板幅が異なる場合、未熟練者は 50 cm 幅で 0.6m/秒、24 cm 幅で 0.3m/秒と歩行速度が半減した。しかし熟練者は歩行速度があまり変化しなかった。
- (3) 10.8m 高の足場板上歩行時における精神的余裕度について副次課題法を用いて調べた。未熟練者は高い足場あるいは狭い足場を歩行させた時、精神的余裕度が少なくなったが、熟練者にこのような現象は認められなかった。
- (4) 足場板の幅は、足に負担をかけない安定した歩行動作をするためには、少なくとも 40 cm 以上の幅が必要である。
- (5) 足場板上歩行時において、熟練者のうち数名に歩行角 30 度以上の足の着地が観察された。これは横からの衝撃力が加わる可能性を考慮して、安定し

た歩行形態を経験を重ねて生み出したものと思われる。

- (6) 枠組足場歩行時には、支柱ユニットの高さが 1.7m であるため、前屈姿勢が観察される。身長 1.75m 以上の者は 30 から 45 度の前傾姿勢で歩行することが観測された。
- (7) 足場板垂直方向受渡作業で、上層にいる作業者は、臀部が頭部より高い作業姿勢をとると、安定性を欠き墜落危険性をともなう。
- (8) 熟練者が好む手摺の形状は、交差筋交であった。

参考文献

- 1) 平成 12 年版 建設業安全衛生年鑑, pp. 59~66, 建設業労働災害防止協会 (2000).
- 2) 橋本邦衛・遠藤敏夫, 生体機能の見方 (人間工学への応用), pp. 70~77, 人間と技術者 (1973).
- 3) 山野井 昇ほか, 姿勢制御における重心軌跡と平衡機能の定量的解析, 第 2 回姿勢シンポジウム論文集, pp. 219~224, (株) 人間と技術者 (1977).
- 4) マージョリー・H・ウーラコット, アン・シャムウエイークック編, 矢部京之助監訳, 姿勢と歩行の発達 (生涯にわたる変化の過程), pp. 71~87, 大修館書店 (1993).
- 5) 後藤幸弘ほか, 幼児の歩行取得時にみられる下肢筋群の放電様相の変化, 第 3 回日本脳波・筋電図学会 (1973).
- 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), p. 150, 航空開発実験集団航空医学実験隊 (1990).
- 7) 浅見俊雄ほか, 身体運動学概論, pp. 131~137, 大修館書店 (1996).

(平成 12 年 11 月 17 日受理)

7. 掘削機操作におけるタイムプレッシャーの影響*

中村隆宏**, 深谷 潔**,
万年園子***

7. Influences of Time-Pressure in the Excavator Operation*

by Takahiro NAKAMURA**, Kiyoshi FUKAYA**,
and Sonoko MANNEN***

Abstract : In the construction work, there are time related factors such as the insufficient time-allowances, the impending of the complete date, and the several stresses in the emergency (recoveries of mistake, weather influences, etc.) and so on. These factors are regarded as the background factors of the occupational injuries, because they might cause the omission, shortening and turbulence of the procedure as the result of making haste, impatience and panic.

The construction machineries are very useful for labor saving and increasing efficiency, however they often cause the serious injuries because of their huge energy. From these points, the effect of time-pressure about the operation of the excavator was discussed in this study.

In the experiment, excavator simulator was used. The subjects were six and they had no experiences of operation. After training session, they took part in the experiment which consisted of two conditions, one was the control (non time-pressure), and the other was the time-pressured. The rapidity and accuracy of operation were measured. While operations, the target detection task was applied to the subjects to determine their peripheral vision performance.

Under the time-pressured condition, the rapidity of the operation was higher than control condition. The differences in terms of the accuracy of operation and peripheral vision performance were not clarified between both conditions.

From these results, the time pressure to the subjects in the experiment seemed to be not sufficient. The subjects might feel tired to the tasks in the control condition, so their performance of operation and vision was reduced. In the time-pressured condition, on the other hand, the time-pressure might be moderate and not enough to make the subjects feel panic, haste and impatience, so the performance of the subjects was promoted.

The experimental method, which manipulates the time pressure, will have to be dealt with more carefully. Further, it is necessary to understand how the workers are exposed to the time-pressure, how and what stress related time they feel in the actual work sites.

Keywords ; Time-pressure, peripheral vision, performance

* 日本人間工学会第43回大会 (2002) において一部発表

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

*** 科学技術振興事業団 重点研究支援協力員 Supporting Staff for Priority Research, Japan Science and Technology Corporation

1. はじめに

建設現場所長クラスを対象としたインタビュー調査を通じ、高木は、事故が起こりにくい建設現場の条件として「適正な工期」を挙げている¹⁾。また、建設現場では作業遅れやトラブルが頻繁に発生し、再調整を行う際の「あせり」から危険が発生することがある、と指摘されている²⁾。

突貫工事になった場合の問題点について高木¹⁾の指摘は多岐に渡るが、エラーを誘発する直接的な要因として「時間的余裕不足」「納期の切迫」が考えられる。また、作業遅れやトラブルに限らず、屋外での作業が多く天候に左右されがちな建設作業においては、天候の急変なども時間的ストレスにつながりやすい。こうした状態が「急ぎ」「焦り」「慌て」などの心理状態を作り出し、「手順の省略、短縮、乱れ」「視野の狭窄」等の現象を生み出す結果、災害の発生につながると考えられる。

臼井³⁾は、作業省略の問題に焦点をあて、ヒヤリハットと事例の分析調査に基づいて、災害の背景に存在するヒューマンファクターについて検討した。調査結果からは、「省略」の原因は、主として「思い込み」によるもの(37%)、「急ぎ」によるもの(25%)、「面倒」によるもの(17%)があり、これらで全体の8割近くを占めていることが示されている。

丸山⁴⁾は、自動車の運転場面を対象に「ゆとり運転」と「急ぎ運転」という二つの条件のもとで実走行実験を行い、両者を比較することによって、動作先行傾向・確認粗漏傾向について検討した。その結果、「急ぎ運転」では確認行動が減少し、発進時に動作先行の確認が行われる、といったように、安全運転の質の低下が認められる、としている。

黒田⁵⁾は、焦燥反応は冷静で論理的な新しい皮質の情報処理精度を低下させることから、安全配慮のスキップ、手順の省略、慎重さを欠いた操作につながる、としている。

こうしたことから、「急ぎ」「焦り」が作業や安全確認の省略行動につながり、何らかの災害原因に発展する可能性が伺える。前述の通り、建設労働現場においては、「時間的余裕不足」「納期の切迫」「緊急時(天候の急変、作業のやり直し等)の時間的ストレス」などは必ずしも稀有な事態ではなく、実際の作業中に時間的圧迫(time-pressure: 以下、TPとする)状況に曝されることは、十分に想定されることである。

労働災害による死傷者数に関して、建設業を取り巻く環境は依然として深刻な状態にある。中でも建設機械に関連した災害は、死傷災害の割合は比較的低いも

の、死亡災害については墜落災害に次いで高い割合を占めている。これは、一旦災害が起きてしまった場合には、極めて深刻な事態につながりやすいことを示すものである。

こうした背景から、本研究においては、建設機械の中でも最も普及しており、かつ災害への関与の割合が高い掘削機(ドラグ・ショベル)の操作を対象として、TPの有無が機械の操作に及ぼす影響について検討することとした。

2. 目的

掘削機(ドラグ・ショベル)の操作を対象とし、TPの有無が掘削機操作にどのような影響を及ぼすかについて検討する。一般的に理解されているように、TPが「焦り」や「急ぎ」につながるのであれば、「動作・確認の省略」等により操作エラーが生じると想定される。また、「視野の狭窄」につながるのであれば、周辺視パフォーマンス(検出率や反応時間等)の低下が生じると想定される。

3. 方法

3.1 実験日時

実験は、2001年7月23日(月)～27日(金)にかけて実施した。

3.2 被験者

被験者は6名であった(21.3±1.0歳)。6名とも掘削機操作の経験は全くなかった。3名はコンタクトレンズを使用していた。

3.3 実験装置

実験に際しては、安全性・効率等を考慮し、実際の掘削機ではなくシミュレータを使用した。これは、独立行政法人産業安全研究所VR実験室に設置されたものである。全周囲スクリーン、動揺装置等から構成され、CGによる描画を提示する。操作内容はリアルタイムで描画に反映される(シミュレータの詳細については、参考文献6)を参照のこと)。

シミュレータ制御用コンピュータの機能を利用し、被験者の操作内容及び反応内容を記録した。

3.4 副次課題

TPによる周辺視パフォーマンスへの影響を測定するため、被験者には副次課題としてターゲット検出課題を課した(TPなし条件、ならびにTPあり条件において;後述)。この課題は、作業中に周囲にランダム

に提示されるターゲットに気付いた場合、出来るだけ早く操作レバー上部のボタンで反応する、という内容であった。ターゲットの見逃し率および反応時間を周辺視パフォーマンスの指標と解釈することから、パフォーマンスの低下に伴って見逃し率が高く、反応時間が短くなると考えられる。ターゲット提示条件は中村ら⁶⁾による実験と同様であった。

3.5 実験条件

①操作習熟

TPの影響に関する測定に先立ち、掘削機の操作に習熟するため、被験者は3日間かけて5分間の練習を計13回行った。操作課題は掘削作業（掘削機前方の窪地を掘削し、左手に停車したダンプトラックの荷台に土砂を積み込む）であった。各被験者の操作方法にバラツキが生じないようにするとともに習熟への動機付けを高めるため、作業内容を得点化して相互に合計得点を競わせた。得点は、正しく積み込み作業を行った（不適切な操作がない）場合に+1点、5回の積み込み作業を行った場合にはさらに+5点、不適切な操作（バケットを閉じたまま掘削する、積み込みが終わらないうちに次の操作を行う、周辺設備やトラックに機体の一部を衝突させる）があった場合は-1点とした。結果は随時被験者にフィードバックされた。

②TPなし条件

被験者は、実験者から教示を受けた後、5分間の練習試行を行った。本試行に先立ち、統制条件として、ターゲット検出課題のみを行った。続く本試行では、実験者から「止め」の合図がされるまで連続して掘削作業を行った。作業は、副次課題としてターゲット検出課題を伴っていた。制限時間などは一切設けていないため、被験者は自分のペースで課題を行うこととなる。作業中は、指定の場所（トラックの荷台）以外に放荷した場合（旋回中にバケットから土砂をこぼす等）には操作エラーと判断され、随時被験者にフィードバックした。

統制条件の後、1分間のインターバルを挟みながら副次課題を伴う掘削作業を3回繰り返した。

③TPあり条件

被験者は、実験者から教示を受けた後、5分間の練習試行を行い、その後本試行を行った。本試行では被験者毎に個別に制限時間を設け、制限時間内に7回の積み込みを行うよう教示した。1回目の試行の制限時間は、TPなし条件3試行のうち、7回の積み込みに要した時間の中で最も短かった時間とした。掘削作業は1分間のインターバルを挟みながら5回行ったが、制限時間より4秒以上短い時間で作業を終了した場合、

その所要時間に3秒加えた時間を次の掘削作業での制限時間とした。制限時間と実際に要した所要時間との差を各被験者の成績とし、被験者間で順位を競わせた。制限時間についてこのような設定方法を採用した理由は、

- ・各被験者の能力に応じた制限時間を設けることで一定の動機付けを与える
 - ・達成不可能な制限時間を課すことで被験者の動機付けが低下することを防ぐ
 - ・被験者間で得点を競い合うことにより、作業および目標時間達成の動機付けを維持する
- といった点に留意したためである。

全ての試行において、被験者には副次課題としてターゲット検出課題を課した。

3.6 測定データ

実験を通じて記録されたデータは以下の通りである。

- ・作業時間（ビデオ録画により記録）
- ・操作エラー（ビデオ録画により記録）
- ・ターゲット見逃し率、反応時間（シミュレーションコンピュータLOGデータから算出）

ターゲット検出課題の成績については、ターゲットの最大提示時間である3秒までの反応を分析対象とした。反応時間が3秒以上の場合、及び無反応の場合を「見逃し」とした。反応ボタンを押し間違えることによる「誤反応」は極めて少数しか観察されなかったため、分析対象から除外した。

4. 結果

4.1 操作習熟の評価

Fig.1に、TPによる影響の測定に先立ち行われた操作習熟における各試行の5分間の平均作業回数を示す。ここで示す「作業」とは、一連の「掘削・左旋回・積み込み・右旋回」という操作を、不適切な操作なしに遂行した場合に「一作業」とカウントし、各被験者の作業回数を試行回数毎に平均したものである。

Fig.1に示すとおり、5回目の試行から10回目にかけて作業回数が増加しており、この間に習熟度が増していたことが伺える。また、10～13回目の試行にかけてはさらに作業回数が増加することはなかったため、各被験者の操作に対する習熟は十分な段階に達したと判断した。

4.2 TPの有無による作業時間の違い

次に、TPなし条件とTPあり条件を比較し、作業の

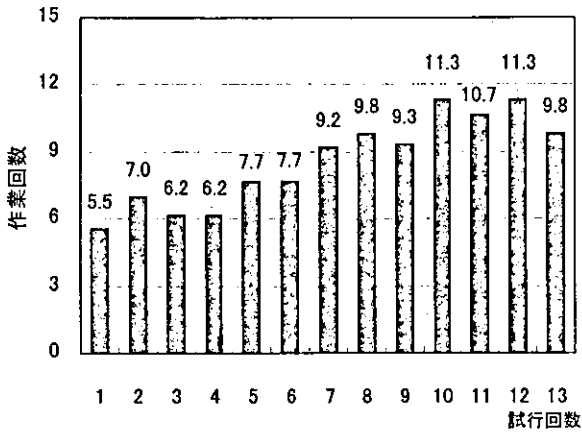


Fig.1 Change of the number of operation in the 操作習熟における作業回数の変化

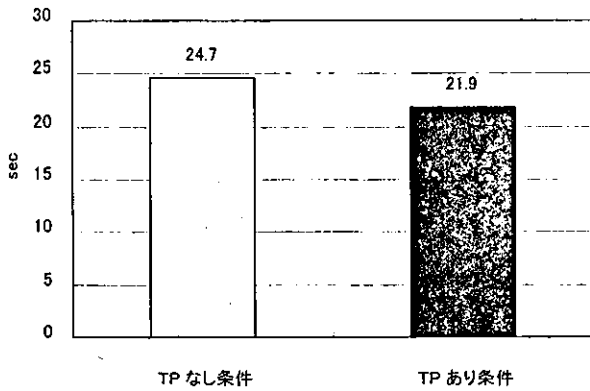


Fig.2 Operation time in each condition 条件別平均作業時間(1作業あたり)

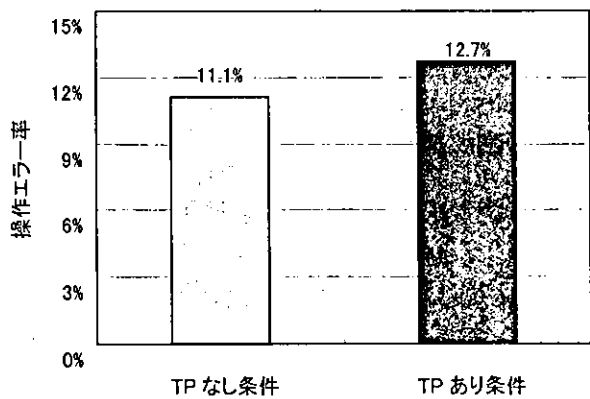


Fig.3 Operation-errors in each condition 条件別操作エラー率

速さがどの程度異なるかに注目した。Fig.2に、作業1回あたりに要した作業時間を示す。TPなし条件(24.7sec)と比べ、TPあり条件(21.9sec)の方が作業時間はより短い結果となった。t検定の結果、TPなし条件とTPあり条件の間に有意な差が認められた($t(334)=6.08, p<.01$)。

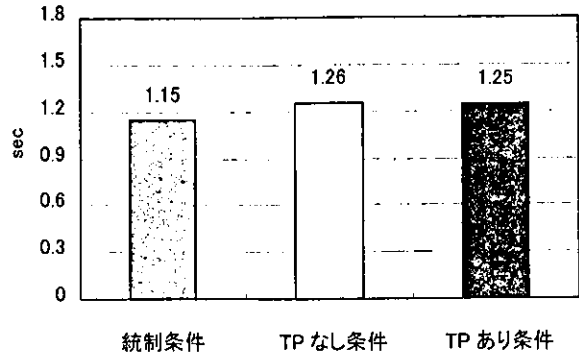


Fig.4 Reaction time in target detection task ターゲット検出課題における条件別反応時間

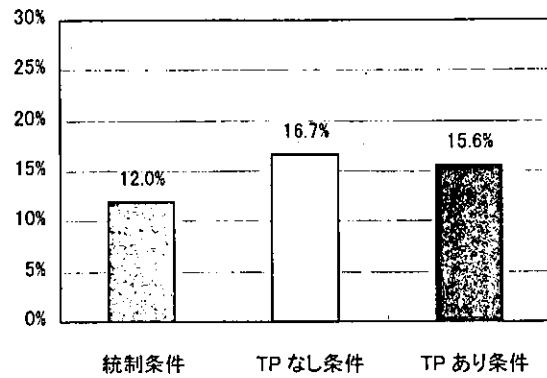


Fig.5 Miss rate in target detection task ターゲット検出課題における平均見逃し率

4.3 TPの有無による操作エラー率の違い

同じくTPなし条件とTPあり条件を比較し、操作エラーがどの程度発生していたかに注目した。操作エラーとは、指定の場所(トラックの荷台)以外の場所に土砂を落とした場合を指し、いずれの条件においても「1回の積み込み作業」とはカウントされない。操作エラー率の算出は、 $\{ (\text{操作エラーがあった作業回数}) / (\text{規定の積み込み回数7回}) + (\text{操作エラーがあった作業回数}) \}$ に基づいて算出した。Fig.3に、条件別操作エラー率を示す。TPなし条件(11.1%)と比べ、TPあり条件では操作エラー率が幾分高いことが伺えるが、 χ^2 検定の結果、有意な差は認められなかった($\chi^2(1)=0.18, n.s.$)。

4.4 TPの有無による副次課題成績の違い

次に、TPなし条件とTPあり条件を比較し、副次課題であるターゲット検出のパフォーマンスがどの程度異なっていたかに注目した。

Fig.4に、各条件における正反応の反応時間を示す。掘削機の操作を伴わない統制条件において反応時間は最も短く(1.15sec)、次いでTPあり条件(1.25sec)、

TPなし条件 (1.26sec) という結果となった。分散分析の結果、これら3条件間には有意な差が認められたが ($F(2,1729)=3.001, p<.05$), 多重比較の結果, TPなし条件とTPあり条件の間には有意な差が見られなかった。

Fig.5に、各条件におけるターゲット見逃し率を示す。掘削機の操作を伴わない統制条件において最も見逃し率が低く (12.0%), 次いでTPあり条件 (15.6%), TPなし条件 (16.7%) と続く。 χ^2 検定の結果, 条件間に有意な差は認められなかった ($\chi^2(2)=2.95, ns$)。

反応時間, 見逃し率とも, 操作を伴わない統制条件において最も良いパフォーマンスを示したことは, 中村ら⁶⁾の実験結果に一致するものである。これは, 掘削機の操作そのものが被験者に相応の負荷となり, 結果として周辺視パフォーマンスに影響を与えていることを示している。

4.5 TPの有無による周辺視パフォーマンスの違い

TPの影響を明らかにするため, 実験データをより詳細に検討し, 以下の観点から条件間比較を行った。

- ・ターゲットの提示範囲別
 - ・ターゲットの種類別 (色別)
 - ・作業経過別 (前半・中盤・後半)
 - ・「操作エラー有」試行と「操作エラー無」試行別
- しかしながら, いずれにおいてもTPの有無に基づく違いは認められなかった。

5. 考察

5.1 TPによる作業時間の短縮

これまでの結果から, TPの有無によって違いが認められた点は作業時間のみであり, TPあり条件において作業時間がより短縮される結果となった。

一般的には, 速さと正確さはtrade-offの関係にあり, 作業速度の上昇は作業精度の低下につながると考えられている。しかしながら実験結果からは, TPあり条件において概ねパフォーマンスが向上する結果となった。

同様の結果は, 同じく掘削機シミュレータを用いてTPの影響について検討した合田⁷⁾の実験結果からも得られている。合田は, 被験者に得点化された掘削作業課題を課し, 制限時間内に出来るだけ多く得点するように求めた。実験では, 掘削機操作の最中に被験者に作業終了までの残り時間を提示するとともに, 次第にテンポが早くなる音声刺激によって実験的にTP感を操作した。TPが操作に及ぼす影響について検討したところ, 作業の速さ・正確さとも, TPあり条件に

おいてパフォーマンスが高いという結果となった。こうした結果からは, TPが作業時間を短縮させる効果がある, と結論付けざるを得ない。

また, 山崎ら⁸⁾は, 7段階の時間制約を設け, 時間的制約と作業パフォーマンス, および精神的負担の関係について検討した。その結果, 時間的制約の短縮に伴い作業時間も一律に短縮する一方, 作業精度はある一定の時間制約以上において低下することを示唆している。

5.2 実験手続き上の問題点

橋本^{9) 10)}は, 大脳生理学的な観点からerror potentialを5段階に分け, それぞれの意識の明度フェーズに対応する情報処理能力の良否またはエラーの頻度や類型を考えることを提唱している (Table 1参照)。本研究において設定したTPあり条件はフェーズIVの状態を想定し, 時間的圧迫の影響から「視野の狭窄」「操作エラーの発生」といった現象が生じると仮定していた。しかし, 今回の実験結果からは, 合田⁷⁾, 山崎ら⁸⁾の結果と同様, TPによって作業時間が短縮した一方で, 操作エラーや周辺視パフォーマンスに関しては, 合田⁷⁾の結果と同様に, TPの有無による違いが確認されなかった。

Table 1 Phase and error potential

意識フェーズとエラーポテンシャル

*橋本 (1981) より一部改変

フェーズ	意識の状態	注意の作用	生理的状态
0	無意識, 失神	ゼロ	睡眠, 脳発作
I	意識ぼけ	不注意	疲労, 単調, 眠気, 酒酔い
II	リラックス	心の内向	安静起居, 休息, 定常作業時
III	ノーマル	前向き	積極活動時
IV	過緊張	一点に固執	感情興奮時, パニック状態

その原因の一つとして, 実験手続きが被験者をフェーズIVの状態に至らせるに及ばなかったことが考えられる。すなわち, TPあり条件における被験者の意識フェーズはIII程度であり比較的積極的に実験課題に取り組んでいた一方, TPなし条件においてはフェーズII程度の状態であった可能性も否定できない。

こうした可能性について検討するため, 操作エラー

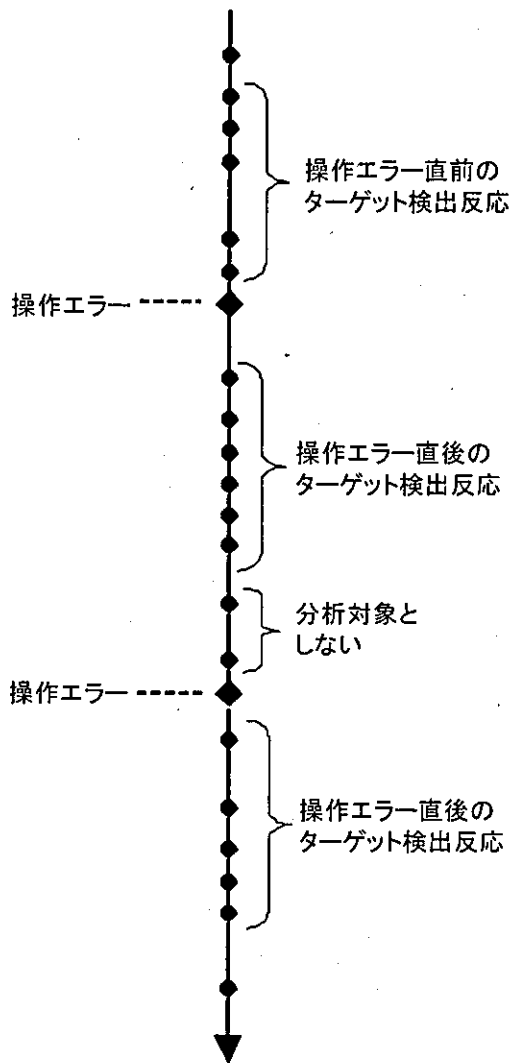


Fig.6 Data sampling (A) of target detection task
操作エラーが連続した場合のデータ抽出方法(A)

が生じた直前・直後の副次課題(周辺ターゲット検出)成績に注目した。これは、操作エラーが生じた時点から前後5つずつのターゲット検出反応を抽出したものである。但し、操作エラーが複数回連続し、操作エラー前後の5つずつの反応が重複した場合には、以下のいずれかの方法に基づきデータを抽出した。

(A) 先の操作エラーが生じた直後のターゲット検出反応(操作エラー後反応)5つと、次の操作エラーが生じる直前の検出反応(操作エラー前反応)5つが重複した場合には、先の操作エラー直後の反応5つのみを対象とし、次の操作エラー直前の反応は分析対象としない(Fig.6参照)。

(B) 先の操作エラーが生じた直後のターゲット検出反応(操作エラー後反応)5つと次の操作エラーが生じた直後の検出反応(操作エラー後反応)5つが重なった場合(連続した2回の操作エラーの間の検出反応が5回以下だった場合)には、2つの操作エラーの間

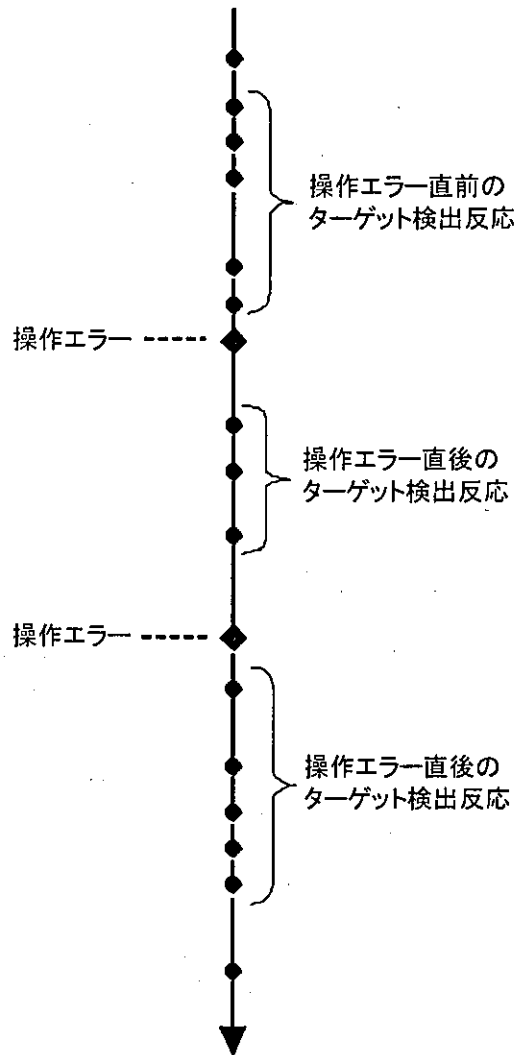


Fig.7 Data sampling (B) of target detection task
操作エラーが連続した場合のデータ抽出方法(B)

の反応を「先の操作エラー直後の検出反応」とした(Fig.7参照)。

Fig.8に、TPの有無別に、操作エラー前と操作エラー後、および操作エラーがなかった試行の反応時間を示す。いずれについても、TPなし条件とTPあり条件の間に有意な差は見られなかった(操作エラーなし; $t(521)=0.55, n.s.$, 操作エラー前; $t(159)=0.21, n.s.$, 操作エラー後; $t(199)=0.81, n.s.$)。

Fig.9に、TPの有無別に、操作エラー前と操作エラー後、および操作エラーがなかった試行の見逃し率を示す。操作エラーなし、および操作エラー後については有意な差は見られなかったが(操作エラーなし; $\chi^2(1)=0.66, n.s.$, 操作エラー後; $\chi^2(1)=0.001, n.s.$), 操作エラー前においては有意な差がみられた($\chi^2(1)=2.09, p<.10$)。

ここでターゲット検出課題に関して注目すべきは、両条件とも何らかの理由から操作エラーが生じた時点

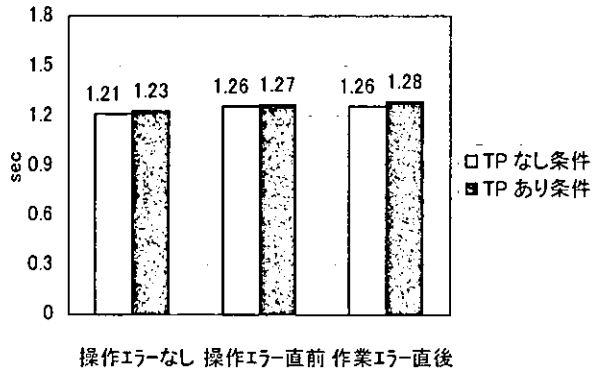


Fig.8 Reaction time before and after operation errors
操作エラー前後のターゲットに対する反応時間

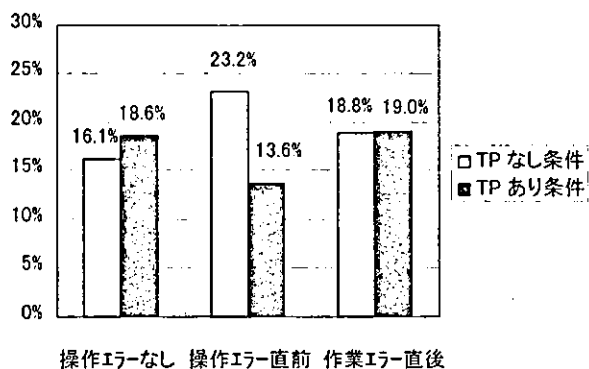


Fig.9 Target miss rate before and after operation
作業エラー前後のターゲット見逃し率

の直前・直後に注目して比較したところ、当初はTPの影響によって見逃しが増え操作エラーにもつながると考えられていたTPあり条件のほうが、操作エラー発生直前には見逃しがより少なく、操作エラー発生直後には両条件間に差が見られなかった、という点である。すなわち、これまでの分析ではTPの有無による条件間の違いは明確ではなかったが、操作エラーの直前・直後に注目したところ、TPなし条件における操作エラー直前に周辺視パフォーマンスが低下していることを意味する。その理由として、シミュレーション状況での掘削機の操作は環境に大きな変化がなく、かつ同様の試行を繰り返すことによって被験者が意識フェーズⅠの状態に陥り、その結果、周辺視パフォーマンスが低下し、さらに操作エラーにつながったのではないかと考えることが出来る。一方、TPあり条件においては、TPによって被験者はフェーズⅣほどではなくむしろフェーズⅢ程度の状態になることで、副次課題であるターゲット検出課題のパフォーマンスを高めたものの、主課題である掘削機操作に振り向けるべき注意資源を副次課題に配分しすぎたことにより操作エラーにつながった、と考えることが出来る。さらに、操作エラー直後の見逃し率に差が見られない点に

つては、TPなし条件ではフェーズⅡないしⅢへ戻るきっかけとして、TPあり条件では適切な注意配分に戻るきっかけとして、操作エラーそのものが機能したためであろう。

こうした論議はあくまで推論に過ぎず論理的根拠に乏しいが、一方で、実験的にTPを再現できる方法に一種の限界があることを示すものでもある。

6. 終わりに

本研究において実施した実験からは、TPの有無によって違いがみられた点は作業時間のみであり、TPあり条件において作業時間がより短縮されるという結果が得られた。一般に、作業速度の上昇は作業精度の低下につながるとされているが、今回の実験から作業精度の低下や周辺ターゲットの検出パフォーマンスの低下は確認されなかった。その原因として、被験者らはTPによる過緊張状態（フェーズⅣ）に至らず、むしろ最も高いパフォーマンスを発揮出来る状態（フェーズⅢ）にあったため、と解釈できる。その意味で、本来目的としていた条件設定が出来ていなかった可能性は否定できない。

今後、さらに検討を行うに当たっては、以下について考慮する必要がある。

1) 作業員が日常的な作業において暴露されているTPの定量的把握

実際の建設作業現場において、「納期が守られない」「作業が予定通り進まない」といった事態は、「契約不履行」「自己の能力に対する評価の低下」等の損失につながるほか、早急に対処しない（出来ない）ことによって危険性が増大し、生命・身体の安全に関わる事態に発展する可能性もある。本研究において被験者に課せられた程度のTP、すなわちフェーズⅢ程度は、現場作業においては通常の範囲内であり、何らかの理由からフェーズⅡに落ち込むようなことがあった場合にはむしろエラーを誘発し、災害につながりやすい状態になる、と考えることも出来る。従って、作業現場におけるTPとエラー発生の可能性についてより詳細に検討するためには、日常的な作業状態において個々の作業員がどの程度のTPに暴露されているか、耐性（tolerance）の個人差がどの程度か、等々について把握することが必要である。

2) 実際の作業で生じうるTPの質的検討

災害の発生につながり得るTPには、いくつかの分類が可能であると考えられるべきであろう。「予定外の作業が必要となった」「機器の故障が生じた」といった場合には比較的短時間に、個々の作業員に対して早急な対応が求められる。一方で、「工期の切迫・短縮」

といった場合には、現場全体としてある程度の時間をかけて対応することが必要であり、個々人に直接影響するTPである以上に、現場組織に及ぼす影響が強い。こうしたTPの種類によって、作業の安全性・エラー発生の可能性に及ぼす影響の質も異なると考えられることから、TPの質的側面を重視した対策が必要となるであろう。

3) 実験におけるリアルなTPの再現方法

本研究で行った実験においては、制限時間内に課題を終えることが出来なかった場合に、被験者が被る直接の損失は殆どなかった。これは、前述の様にTPによるパフォーマンスの低下やエラーの発生が何らかの損失につながり易い実際の作業状況と、大きく異なる点である。しかし、生命・身体に危害が及ぶ事態を実験的に再現しようとする事は倫理的に大きな問題をはらんでいる。山崎ら⁸⁾は、7段階の時間制約を設け、作業精度がある一定の時間制約以上において低下することを示唆しているが、このように、TPの段階をより細分化しつつも課題の難易度を一定範囲内に維持し、かつ被験者の実験課題に対する動機付けを維持するような方法について、さらに検討する必要があるだろう。

謝辞

本研究は、早稲田大学人間科学部 田淵 剛氏の協力によって行われた。記して感謝する次第である。

参考文献

1) 高木元也：建設業におけるヒューマンエラー防止対策～HEART手法による原因分析と対策樹立～、

労働調査会、2001

- 2) ヒューマンエラー防止研究会編：建設業におけるヒューマンエラー防止読本，大成出版社，2000
- 3) 臼井伸之介：産業安全とヒューマンファクター(4)，－ヒヤリハットからのアプローチ－，クレーンvol.33, No.11, 1995
- 4) 丸山欣哉，加藤健二，櫻井研三：急ぎ運転の行動分析，適正・事故・運転の心理学，企業開発センター交通問題研究室，1995
- 5) 黒田 勲：ヒューマンファクターを探る～災害ゼロへの道を求めて～，中央労働災害防止協会，1988
- 6) 中村隆宏，深谷 潔，呂 健，江川義之，輿水ヒカル：掘削機操作における眼球運動と有効視野，産業安全研究所特別研究報告，NIIS-SRR-NO.23, pp.15-34
- 7) 合田悠理子：タイムプレッシャーが作業に及ぼす影響について，早稲田大学人間科学部卒業論文，2000（未公刊）
- 8) 山崎寛享，辛島光彦，斉藤むら子：時間的制約が意思決定作業におけるパフォーマンスに与える影響に関する研究，日本人間工学会誌第38巻特別号（第43回大会講演集），pp.320-321, 2002
- 9) 橋本邦衛：ヒューマンエラーと安全設計，人間工学17 (4)，pp.149-156, 1981
- 10) 橋本邦衛：安全人間工学の提言，安全工学，18 (6)，pp.306-314, 1979

(平成15年3月3日受理)