

# 産業安全研究所技術資料

TECHNICAL NOTE OF  
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

1977

## プレス機の「安全距離」に関する研究

—モデル作業における手の速度と

ストップタイムの現場測定について—

深 谷 潔  
杉 本 旭  
佐 藤 吉 信

# プレス「安全距離」に関する研究

## —モデル作業における手の速度と ストップタイムの現場測定について—

深谷 潔\*, 杉本 旭\*, 佐藤 吉信\*

### The study on “Safty distance” of power press

Kiyoshi Fukaya\*, Noboru Sugimoto\*, Yoshinobu Sato\*

This study comprises two parts ; a simulation of power press operation to study the velocity of hand ; an industrial survey of stop-time, that is, time interval between the moment that emergency stop button was pushed ( $t_0$ ), and the moment that the ram stopped ; both were essential in order to calculate “Safty distance”.

In this simulation two types of maximum velocities were gained ; one of them was for the movement whose initial velocity was zero, and the other was for the movement whose initial velocity was not zero. The former was 1.43 m/s and the latter was 1.84 m/s. They correspond Two-hand trip and Presence sensing device respectively. But further research is necessary to get standard of velocity in press operation.

Stop-time consisted of delay time of brake ( $T_1$ ) and effective brake time ( $T_2$ ). As to the same press,  $T_1$  was constant.  $T_1$  ruled after-run-length, that is, length that ram moved after the emergency stop button was pushed.  $T_2$  had been expected to dedepend on the crank angle  $\theta_0$  at  $t_0$ , but in some Presses the influence of  $\theta_0$  was cancelled by counterblance. There was a press whose stop-time was 85 ms, on the other hand there were presses with loose brake whose stop-time were more than helf-cycle.

## 1. ま え が き

プレスの安全装置のうち、光線式ののものには、光線を切ってからラムが止まるまでの間に、手が金型の間に届く可能性がある。両手操作式ののものにも、両手ボタンを押してからラムが下り切る間に、手が届く可能性がある。それに対して、両手操作式では、毎分ストローク数（以下 spm と表わす）が120以上というかたちでおさえられている。しかし、危険性と spm との関係が必ずしも明確でない。

近年、アメリカ・西ドイツでは、「安全距離」という概念を用いて、それらの危険性を明確にしている。すなわち、両手ボタンまたは光線と危険域—金型の手前の端—の間を「安全距離」だけ離しておいて、手が「安全距離」だけ進む間に、ラムが下り切るかまたは停止するようにしようというものである。そうするためには、どのようにして「安全距離」を決定すればよいであろうか。

両手操作式ののものについては、まず両手ボタンを押してから、ラムが下死点に下り切るまでの時間  $T_M$  を知る必要がある。これは spm がわかれば、容易に概算できる。

例えば、ポジティブクラッチの場合は、クラッチピンまたはローリングキーが受け部と噛み合っただけでラムが動き出すまでの時間  $\tau_1$  と、ラムが上死点から下死点まで下る時間  $\tau_2$  の和となる。後者は、クランク軸が半回転する分の時間である。前者は、両手ボタンを押したときのピンまたはキーと受け部の相対位置によって異なるが、安全のためにはその最大時間を考えればよい。それは、一つの受け部から次の受け部までの時間となる。例えば、受け部が一つのときはクランク軸の1回転の時間、二つの時は半回転の時間となる。従って、 $T_M$  は spm を用いて次のように表せる。

$$T_M = \left( \frac{1}{n} + \frac{1}{2} \right) \times \frac{60}{\text{spm}} \text{ (sec)}$$

$n$  : 噛み合い数（ピンまたはキーの受け部の数）

フリクションクラッチの場合も、上述の噛み合い数  $n$  が無限大と考えれば、上式が適用できる。

光線式安全装置では、 $T_M$  に対応するものとして、光線を切ってからラムが停止するまでの時間（以後ス

トップタイムと称す） $T_S$  を知る必要がある。これは、ブレーキの調整などによって変化すると考えられるので、原則的には1台1台について測定することが必要であろう。

次に、人間の手の速度を知る必要がある。これは姿勢やストロークなどにより変化すると考えられるが、プレス作業における手の最高速度  $V_M$  をおさえればよい。

「安全距離」は、 $T_M$  と  $V_M$  の積または  $T_S$  と  $V_M$  の積として求められる。

我国では、この「安全距離」という概念をまだ取り入れてはいないが、導入を検討する価値はある。アメリカ、ドイツでは、前述の  $V_M$  の値として、1.6 m/s という値を採用しているが、この値が必ずしも我国の実情に合っているとは限らない。また、我国では  $T_S$  の値が公表されていない。本研究では「安全距離」の導入を検討する際の参考資料とするため、手の速度  $V_M$  とストップタイム  $T_S$  の測定を行なった。

## 2. 手 の 速 度

### 2.1 測 定

#### 2.1.1 シミュレーション

プレス作業における手の速度を測定するため、写真1のプレスのモックアップを用いて、シミュレーションを行なった。シミュレーションは次のような想定

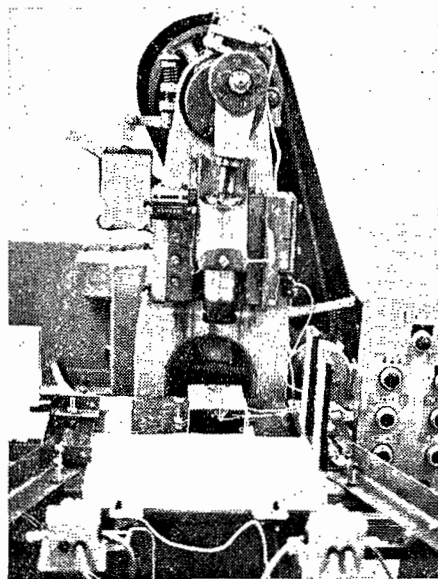


写真1 プレスのモックアップ

1) プレス機械又はシャワーの安全装置構造規格第13条では spm が90以上と決められているが、spm は120以上と指導している。

もとで行なった。全体的状況としては、座作業で、片手で扱う小物の加工を行なうものとした。想定する作業は、まず、右側または左側にある材料をつかみ、それを金型に挿入し、両手ボタンを押す。するとラムが下降し、加工を行なった後、製品等は自動的に排出され元の状態にもどるものとした。

シミュレーションでは、材料をつかむ動作、および金型に挿入する動作をボタンを押す動作で置き換えた。また、金型中に材料・製品が存在することを、青ランプの消灯で表示した。

以上は正常な作業サイクルについてのことで、ラムが上昇し、製品等が排出された後に金型のところへ手を出しても何ら危険はないのであるが、両手ボタンを押した直後に手を出すと場合が実は問題である。この危険な状況をシミュレートするため、赤ランプが点灯した時には直ちに金型の位置にあるボタンを押すように被験者に指示した。この赤ランプの点灯は、正

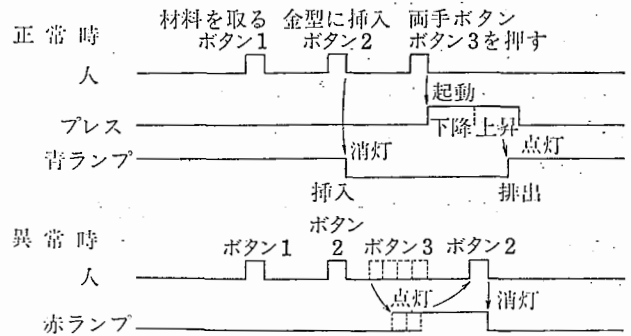


図 2 タイミングチャート

常サイクルの繰り返しの中でランダムに行なった。

このシミュレーションの様子、および動作のタイミングチャートを図1および図2に示す。なおタイミングチャートの中の矢印は因果関係を示す。また、赤ランプ時の点線で示されたボタン3は、赤ランプの点灯とボタン3を押すタイミングが一定ではないこと、および、時によってはボタン3が押されないことを意味する。

2.1.2 測定条件

100回の正常作業の繰り返しの間に、15回に1回の割合で赤ランプを点灯させるものを1試行とした。各被験者ごとに、簡単な練習の後、種々の条件のもとで4試行または8試行の測定を行なった。

なお、被験者はすべてプレス作業の未経験者である。

作業が単純なので、熟練ということは考える必要はないと判断し、練習は作業の要領を覚えるだけの短いものとした。

条件は、プレスの速度 (spm 90 と 135), 材料の位置 (右と左, 図1の1' と 1), 両手ボタンの位置 (前と後, 図1の3 と 3') の組合せによる。これを表1に示す。

表 1 実験条件の組合せ

|   | プレスの速度 (spm) | 材料の位置  | 両手ボタンの位置 |
|---|--------------|--------|----------|
| 1 | 90 (遅)       | 1 (右)  | 3 (前)    |
| 2 | 135 (速)      | 1      | 3        |
| 3 | 90           | 1' (左) | 3        |
| 4 | 135          | 1'     | 3        |
| 5 | 90           | 1      | 3' (後)   |
| 6 | 135          | 1      | 3'       |
| 7 | 90           | 1'     | 3'       |
| 8 | 135          | 1'     | 3'       |

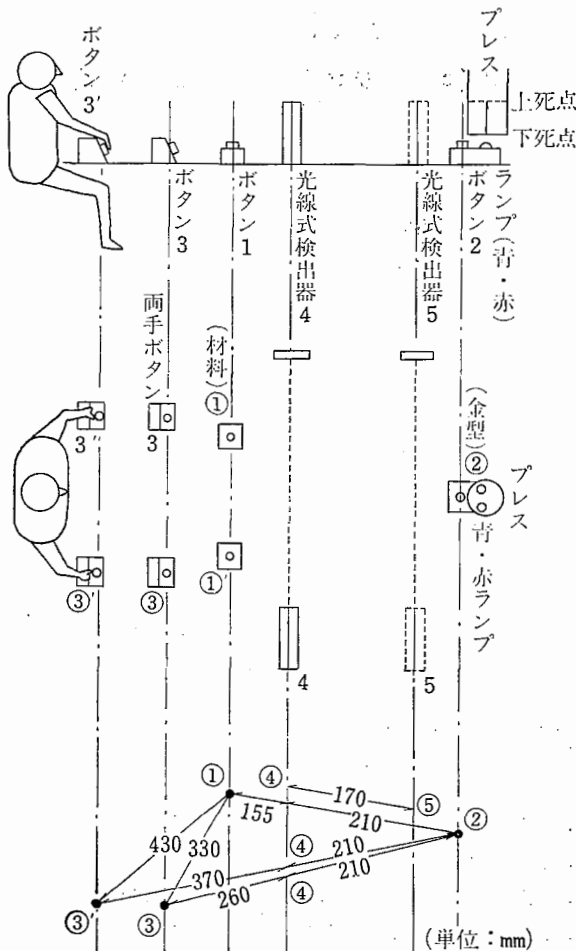


図 1 測定点の配置と各点間の寸法

2.1.3 測定内容

手の速度として、両手操作式の場合の両手ボタンから金型までの平均速度のほかに、光線式の場合の光線から金型までの平均速度も得られるように、光線式検出器4を設置した。

このようにして、各ボタンを押す時刻、光線を横切る時刻を記録し、その間の時間から、各点間の平均速度を計算した。

2.2 測定結果

各被験者ごとの平均速度の平均、標準偏差、最大値を、図3(a)~(c)に示す。被験者A~Gについては8試行(1~8)、被験者a~lについては4試行(1~4)ずつ行なった。図3(a)の点1-2間とは、図1のボタン1からボタン2までを意味し、図3(b)の点4-2間とは、手が光線4を切る点からボタン2ま

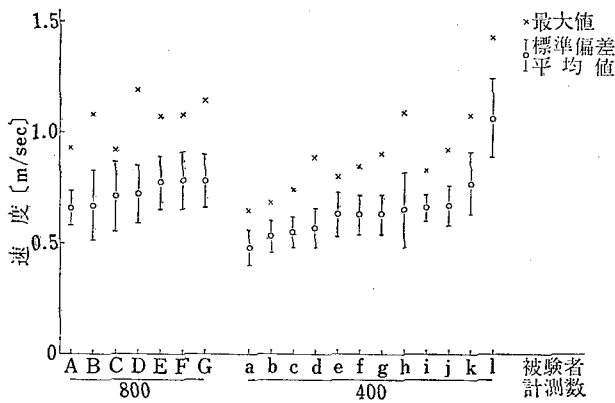


図3(a) 平常時の点1-2間の平均速度の平均、標準偏差、最大値

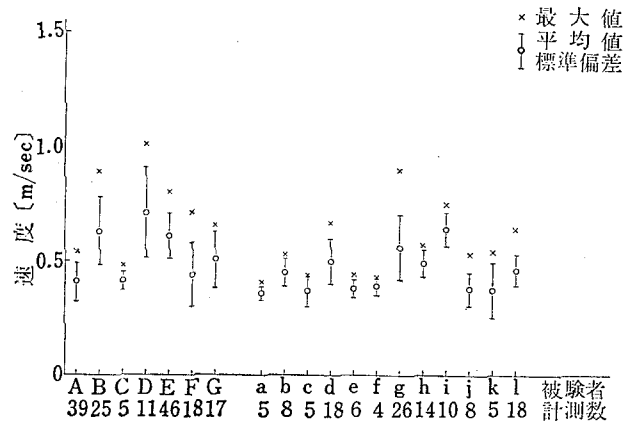


図3(c) 赤ランプ時の点3-2間の平均速度の平均、標準偏差、最大値

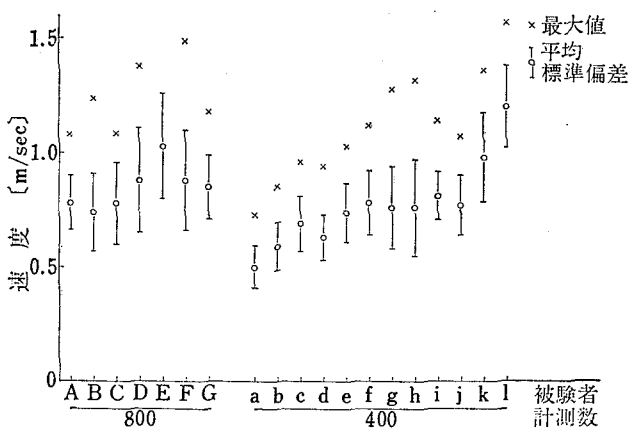


図3(b) 平常時の点4-2間の平均速度の平均、標準偏差、最大値

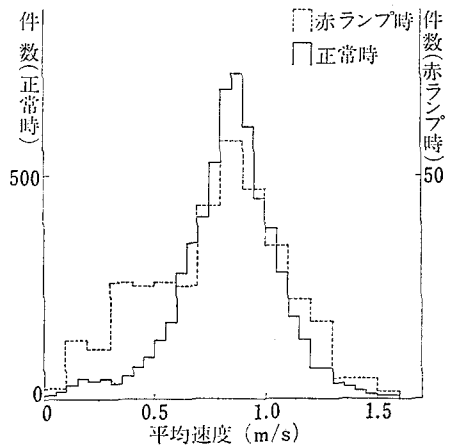


図4 点4-2間の平均速度のヒストグラム

表2 2台の光線式検出器を用いて測定したときの手の速度

| 被験者 | 一試行の回数 | 実験条件         | 点4-5間      | 点5-2間      | 点4-2間      |
|-----|--------|--------------|------------|------------|------------|
| α   | 50     | 遅, 右, 前      | 1.21±0.200 | 0.25±0.032 | 0.56±0.176 |
| β   | 50     | "            | 1.57±0.296 | 0.33±0.046 | 0.81±0.132 |
| γ   | 100    | "            | 1.65±0.285 | 0.44±0.067 | 0.96±0.167 |
| γ   | 100    | 速, 右, 前      | 1.32±0.364 | 0.24±0.122 | 0.65±0.161 |
| γ   | 100    | spm120, 右, 前 | 1.81±0.085 | 0.47±0.068 | 1.06±0.188 |

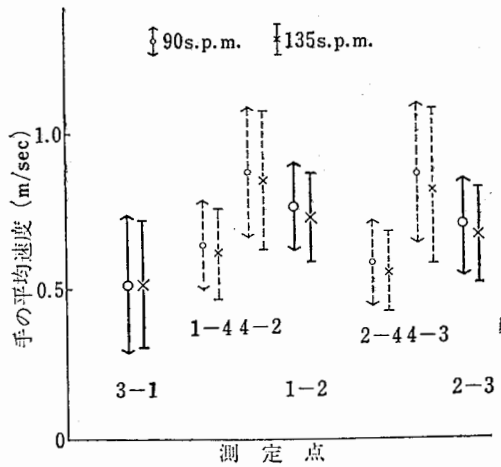


図 5 (a) プレスの速度別の手の平均速度の平均, 標準偏差

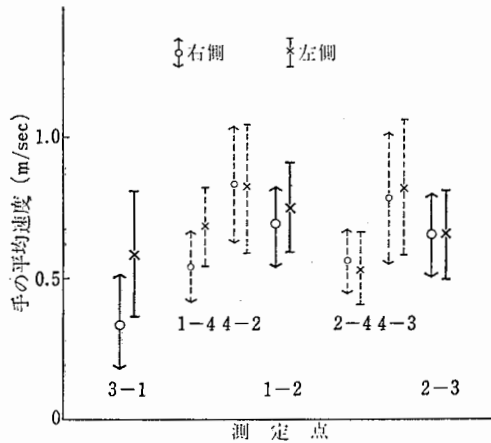


図 5 (b) ボタン1の位置別の手の平均速度の平均, 標準偏差

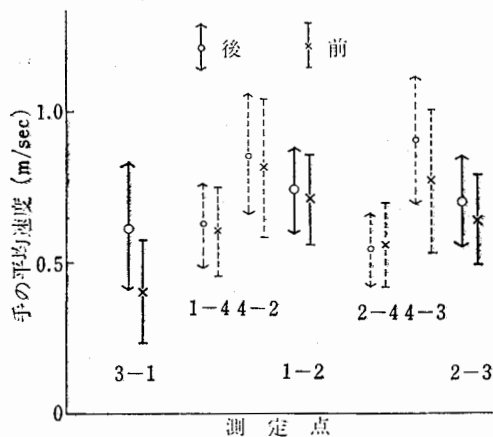


図 5 (c) 両手ボタン3の位置別の手の平均速度の平均, 標準偏差

でを意味する (以下の図についても同様である)。図 3 (c) の赤ランプ時の測定数の違いは、赤ランプをつけても被験者が気がつかず、正常のサイクルを続行した場合を除いたためである。

全被験者についての点 4—2 間の平均速度のヒストグラムを図 4 に示す。

全被験者についての、正常時の各点間の平均速度の測定条件ごとの平均、標準偏差を図 5 (a)~(c) に示す。

光線式検出装置を 2 台用いた時の測定の 1 試行の平均および標準偏差の数例を表 2 に示す。

### 2.3 考 察

平常時よりも赤ランプ時の方が速くなることを期待したが、そうはならなかった。その理由として、

- 1) 赤ランプが点灯した時に、すぐ反応できず、まごつく場合がある。
- 2) ボタン 2 の近くまで手を伸しても、ラムが動いていると、恐れてボタン 2 を押すことをためらう場合がある。

などが考えられる。

このため、手の標準速度の決定のためには、赤ランプ時のデータは必ずしも適当でないと思われる。より速い値を持つ平常時のデータにより考察をすすめる。

この測定値より異常時の手の速度を推定する際には次の点を考慮する必要がある。

- 1) 平常時は被験者に「できるだけ速く」という指示をしていない。
- 2) 速度の水平成分を問題にしているのだが、ボタン 2 を押す動作はボタンが垂直方向を向いているため、垂直成分が主で、水平成分は小さいと考えられる。
- 3) この実験では、手の運動の目標点であるボタン 2 は、危険域の前端に設置したが、危険域に手を突っ込んで事故を起こす場合は、目標点が危険域内にある可能性が考えられる。もちろん、危険域に入る前の地点に手を伸すつもりが、勢いが余って危険域に手が入るとして可能性もあり得るが、いずれにしても、危険域の内部に手が入った時は、その前端部では、手は零でない速度を持つと考えられる。

上述 1), 2) より、手の最高速度、特に、今回の実験の円弧を描く動きでなく、水平方向の直線的動きの

場合の手の速度は、今回の測定値より大きいと推定できる。

また、2),3)により、安全距離算出に用いる手の速度としては、終速度が零の点3-2間および点4-2間の平均速度よりは、点3-5間および点4-5間の平均速度の方が適切ではないと思われる。手の速度パターンの対称性を仮定すれば、点3-5間の平均速度のかわりに点4-2間の速度を用い得るので、図3(b)にはそれをあげた。点4-5間の平均速度は表2にあげてある。

### 3. ストップタイム

#### 3.1 測定

##### 3.1.1 現場計測

ストップタイムの測定は、実際に工場で使用されているプレスについて行なった。

非常停止装置の起動は、急停止ボタンの回路を用いて行なった。これは、必ずしもすべてのプレスが光線式安全装置を備えているとは限らないからである。

測定は、プレスを連続運転し、手動で急停止をかけることによって行なった。その際のラムの動きおよび急停止をかけた時のタイミングをデータレコーダに記録し、後にオフラインで、計算機を用いてそのデータを処理した。そのブロックダイアグラムを図6に示す。

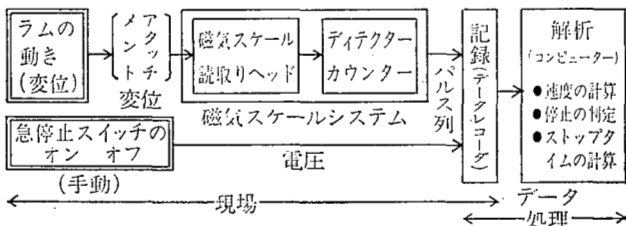


図6 ストップタイムの測定のブロックダイアグラム

なお、急停止をかける時のラムの位置は適当に変えるようにした。

##### 3.1.2 測定装置

ストップタイムだけの測定装置は、すでに諸外国で市販されているが、ストップタイムだけでなく、ラムの速度等の測定も可能な測定装置を、本研究のため開発した。

ラムの動きを電気信号に変換する部分については、

外国で市販されているものは、タコジェネレータを用いている。しかし、タコジェネレータでは、低速になると出力がなくなるが、この閾値がストップタイムの測定に妥当なものか否かは必ずしも明らかでない。本測定では、そのことも考慮し、ラムの変位をとらえることとした。そのために、ここでは分解能 0.1 mm

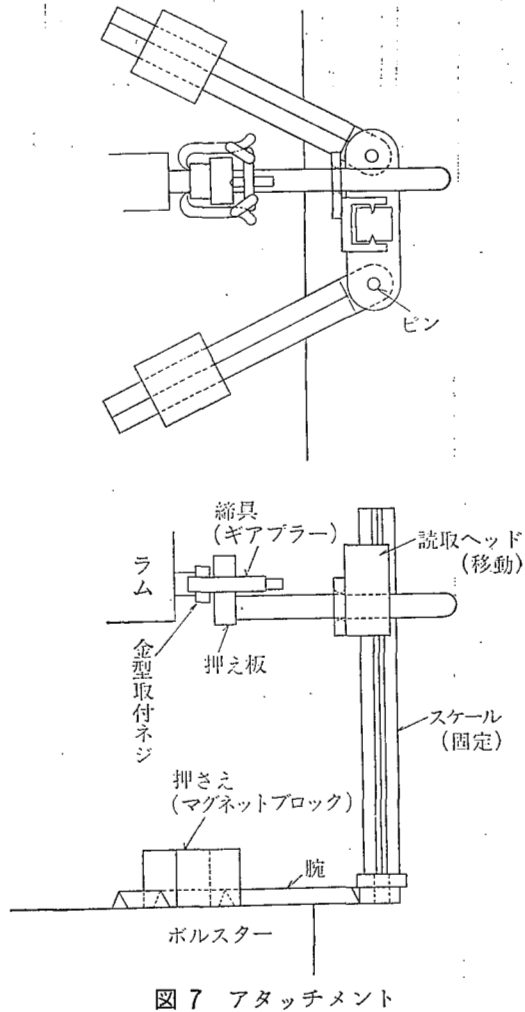


図7 アタッチメント



写真2 磁気スケールとアタッチメント

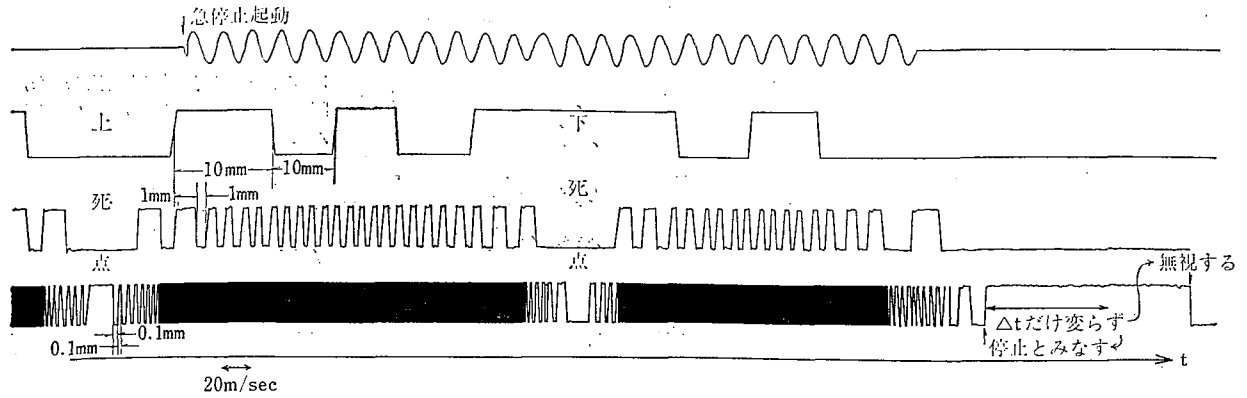


図 8 データレコーダの記録波形の 1 例

の磁気スケールを用い、ラムの動きをパルス列に変換した。

ラムの変位を磁気スケール読取りヘッドに伝えるためのアタッチメントを図 7 に示す。また、プレスにセットした状態を写真 2 に示す。

3.1.3 データ処理法

データレコーダの記録の一例を、図 8 に示す。

第 1 チャンネルは、急停止スイッチの信号で、サイン波の部分は急停止スイッチがオンの状態を示す。

第 2 ～ 第 4 チャンネルは、磁気スケールカウンターからの信号で、各チャンネルの 1 パルスは、それぞれ 10 mm, 1 mm, 0.1 mm の変位を表わす。

この 1 パルス当りの時間から、ラムの速度は計算できる。

停止の判定は、第 4 チャンネルのパルスにより行なう。パルスが高レベルから低レベル、またはその逆に低レベルから高レベルに変わってから一定時間たっても、レベルが変わらなければ、その最後になった時点停止時点とした。この一定時間を変えることで、停止速度の閾値を変えることができる。

3.2 測定結果

測定に用いたプレスの性能とストップタイムの平均値・標準偏差の値を表 3 に示す。このうち、e ～ i はストップタイムが大きな値を持ち、プレスのクランク軸の半回転分の時間以上ではあるが、材料の送給・製品の排出などが自動で行なわれていて、手を出す余地がないので、必ずしも危険とはいえない。また、j

表 3 プレスの能力とストップタイム

| プレス | 能力 (t) | ストローク (mm) | spm | ストップタイム (m sec) | ブレーキの遅れ時間 (m cos) | 備考                                   |
|-----|--------|------------|-----|-----------------|-------------------|--------------------------------------|
| a 1 | 35     | 76         | 50  | 100 ± 8         | 75 ± 11           | 同一プレス                                |
| a 2 | 35     | 76         | 100 | 111 ± 13        | 74 ± 11           |                                      |
| a 3 | 35     | 76         | 150 | 126 ± 13        | 77 ± 11           |                                      |
| a 4 | 35     | 76         | 200 | 142 ± 9         | 75 ± 12           |                                      |
| b   | 60     | 160        | 60  | 214 ± 22        | 142 ± 10          | 停止閾値 5 mm/s<br>急停止角 45° ~ 110° までの平均 |
| c   | 30     | 50         | 90  | 85 ± 11         | 48 ± 9            |                                      |
| d   | 50     | 60         | 70  | 250 ± 16        | 176 ± 11          |                                      |
| e   | 30     | 50         | 100 | 308 ± 37        | 215 ± 11          |                                      |
| f   | 20     | 20         | 180 | 201 ± 18        | 145 ± 16          |                                      |
| g   | 50     | 50         | 100 | 361 ± 21        | 271 ± 21          |                                      |
| h   | 30     | 40         | 120 | 318 ± 29        | 229 ± 14          |                                      |
| i   | 30     | 50         | 100 | 537 ± 38        | 403 ± 28          | 急停止せず、上死点にて停止<br>"                   |
| j   | 30     | 40         | 150 | —               | —                 |                                      |
| k   | 30     | 40         | 130 | —               | —                 |                                      |

プレス b 以外の停止閾値は 1 mm/s



よびkは、急停止がかからず、上死点で停止するようになっていた。

コンピューターで計算したラムの速度曲線を、図9(a)~(c)に示す。プレスの違いは表3による。

急停止ボタンを押した時のプレスのクランク角(以下、トリガー角と称する)とストップタイムの関係を図10(a)(b)に示す。図中のブレーキの遅れ時間とは、急停止ボタンを押してから、ラムの速度パターンが通常のものから外れるまでの時間を、図9より読み取ったものである。また、トリガー角も図9より計算

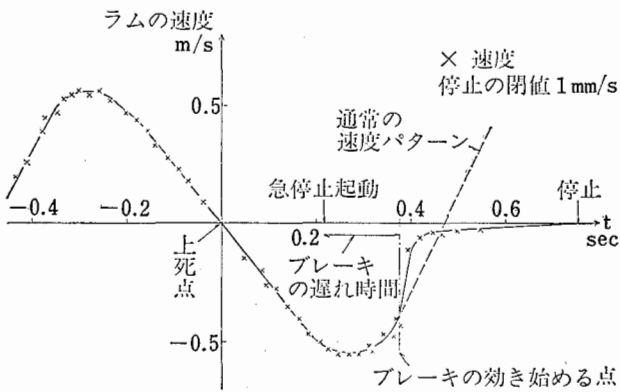


図9(a) プレスの速度パターン (プレスb)

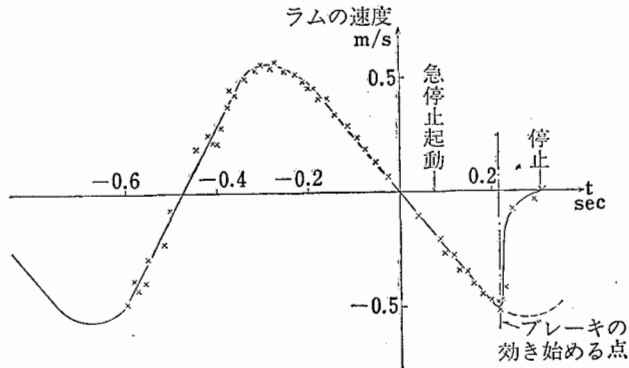


図9(b) プレスの速度パターン (プレスb)

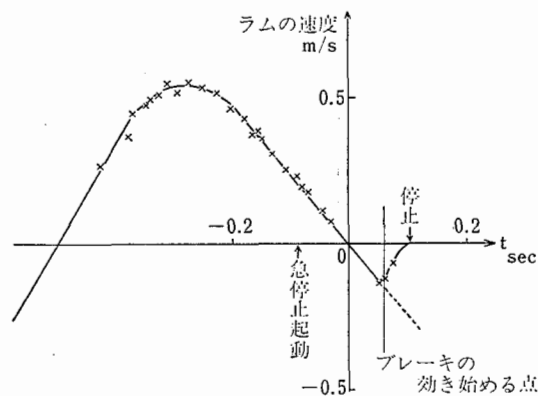


図9(c) プレスの速度パターン (プレスb)

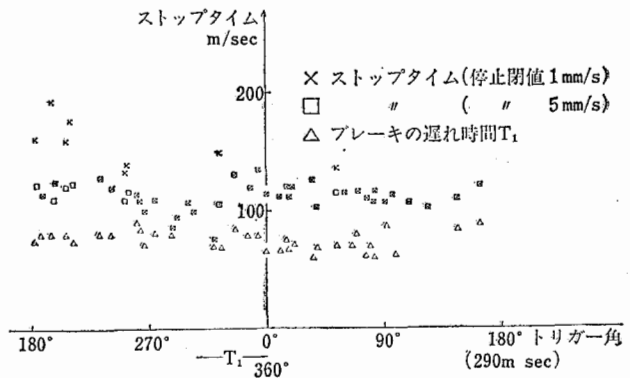


図10(a) トリガー角とストップタイム (プレス a・100 spm)

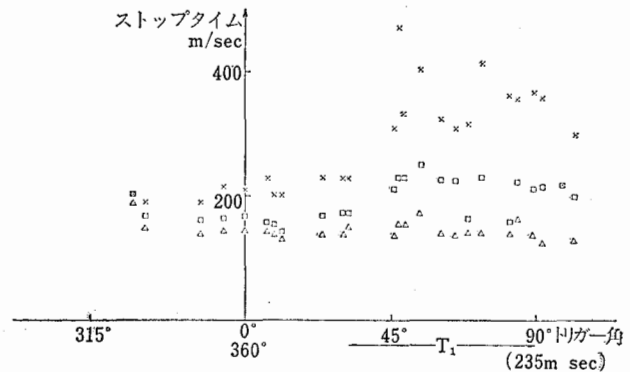


図10(b) トリガー角とストップタイム(プレスb)

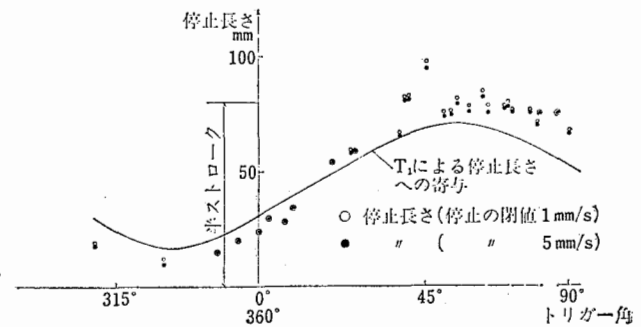


図11 トリガー角と停止長さ (プレスb)

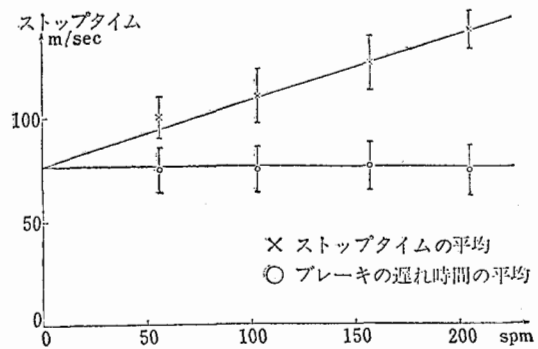


図12 spm とストップタイム (プレスa)

したもので、角速度一定の仮定のもとで、時間を角度に換算したものである。

トリガー角と急停止をかけた後のラムの移動距離(以下、停止長さと呼ぶ)の関係を図11に示す。

プレスaについてのspmとストップタイムの平均値の関係を図12に示す。

### 3.3 考 察

図9または図10に見られるように、ストップタイムは急停止ボタンを押してからブレーキが効き始めるまでの時間  $T_1$  と、ブレーキが効き始めてからラムが停止するまでの時間  $T_2$  とに分けて考えられる。

このうち  $T_1$  は、ブレーキ機構にもよるが、ボタンを押してからリレーが働くまでの時間、空気弁が開くまでの時間、電磁ブレーキのソレノイドが磁界を発生するまでの時間、ブレーキのライニングと摩擦板の間隙が零になるまでの時間などからなると考えられる。

図10や図12に見られるように、多少のバラツキはあるが、 $T_1$  はトリガー角やspmによらず、ほぼ一定と考えられる。

$T_2$  は停止の閾値によって大きく異なっているものがある。この違いは、図9(a)に見られるような低速度の部分が原因と考えられる。図11に見られるように、プレスbでは、この低速度部分(5 mm/sec以下1 mm/sec以上の部分)を積分すると、大きいところで3 mm程度である。プレスaでは1 mm以下である。

一般に、停止の閾値が大き過ぎると、ストップタイムだけ経過した後でも、ラムが何ミリか動くと考えられる。このラムの変位量は、図9(b)(c)のように、速度が急速に零になる場合は小さいが、図9(a)のように低速度部分が多いと無視できないものになり得る。安全距離の考え方のもとでは、急停止装置を起動してからストップタイムだけ経過後には、手が危険域にあると考えなくてはならないので、停止の閾値が大き過ぎると危険である。

図10(a)においては、ばらつきはあるが、ストップタイムはトリガー角によらず、ほぼ一定と言える。図10(b)においては、トリガー角によって2グループに分けられる。プレスc~iではプレスaと同じく、トリガー角による規則的な変化は見られず、一様にばらついた。

プレスbに見られるトリガー角によるストップタイ

ムの違いは、ラムの加減速度によるように見える。図10(b)の座標軸を  $T_1(\text{sec})$  だけ左にシフトすると、ブレーキが実際に効き始めた時のクランク角に対するストップタイムを示すようになるが、90°付近で二つに分かれて見える。すなわち、ラムの加速中である90°以前のストップタイムは小さく、ラムの減速中にはストップタイムは大きい。

プレスa, c~iでは、クランク系とラム系の質量比の違い、カウンタバランスなどのため、ラムの速度の影響がばらつきの程度まで小さくなっていると想像される。

図11に、ラムの動きが正弦波で表わせると仮定した時の、ブレーキの遅れ時間  $T_1$  による停止長さへの寄与を示した。この図からわかるように、 $T_1$  が停止長さをほぼ決定している。また時間という面から見ても、表3に見られるように、 $T_1$  はストップタイムの半分以上である。

図12に見られるように、プレスaの図のspmの範囲に限って言えば、ストップタイムはspmの1次関数的に増加する。 $T_1$  だけ差し引けば、一定の角運動量を持つ回転体を一定摩擦トルクで停止させるモデルが適用できる。

## 4. ま と め

「安全距離」を導入する際の参考データとして、プレス作業における手の速度、プレスの急停止をかけたからラムの停止するまでの時間(ストップタイム)の測定を行なった。

手の速度については、両手式と光線式の場合初速度が異なることを考慮して、それぞれ、1.43 m/s, 1.84 m/sという最高速度が得られた。しかし、現実のプレス作業には本研究と異なる種々の動作があると思われるので、この値をそのままプレス作業における手の標準値とするには問題があろう。

ストップタイムについては

- 1) ストップタイムは、急停止ボタンを押してからブレーキが効き始めるまでの時間  $T_1$  と、ブレーキによって停止するまでの時間  $T_2$  に分けられる。
- 2) 測定したプレスでは、 $T_1$  の方が  $T_2$  より大きい。
- 3) 同一のプレスでは、 $T_1$  は一定と考えられる。

- 4) 一般に、 $T_2$  のトリガー角による変動は小さく、ストップタイム全体として見ると、ほぼ一定と見なせる。しかし、一部のプレスでは、トリガー角によって  $T_2$  の値は変化する。
- 5)  $T_2$  は spm と共に増加する。
- 6) ストップタイムの測定のさいに、ラムが停止したとみなす速度の閾値が大き過ぎては危険である。
- 7) 今回測定したプレスのストップタイムは、0.1～0.5 秒程度であった。

などの結果が得られた。

以上の結果から、一応安全距離を計算することはできるが、一つのモデル実験による手の速度だけで安全距離を決めてしまうことは問題があろう。安全距離を考える際の一つの参考にしていただきたい。

ストップタイムの測定に協力された、大和工業相模

工場、宮田金属工業葛飾工場に感謝の意を表したい。

なお、プレス作業のシミュレーション実験のコントロール、データ処理、ストップタイムのデータ処理には当研究所の、FACOM 230-35 を用いた。

(昭和51年12月16日受理)

## 参 考 文 献

- 1) Scharmer H. W. : Greifgeschwindigkeiten bei der Verarbeitung von Leder und Textilien auf Stanzen und Pressen mit berührungslos wirkenden Schutzrichtungen. Die Berufsgenossenschaft 1974 (26), Heft 4, S. 156
- 2) Knüss P. : Nachgreifsicherheit an Pressen der Metallbearbeitung. Die Berufsgenossenschaft 1974, S. 239

産業安全研究所技術資料

RIIS-TN-76-5

---

昭和52年1月31日 発行

発行所 労働省産業安全研究所  
東京都港区芝5丁目35番1号  
電話(03)453-8441番(代)

印刷所 新日本印刷株式会社

---

郵便番号 108