

## ガス切断面の研究

市川慎平\*\* 竹花范平\* 植松義量\* 小林捷雄\*

## A Study on the Aspect of Gas Cutting Surface

By

Shinpei Ichikawa, Hanpei Takehana, Yoshikazu Uematsu and Hayao Kobayashi

Through a series of experiment of gas cutting under various cutting conditions, we found the following relation about drag line density, i. e., number  $n$  of drag lines for each 10mm cutting length :

$$n = n_0 (V \times 10^{-2} \cos \theta)^m,$$

where  $n_0$  is numerical constant peculiar to range of cutting speed  $V$  mm/min, and  $m$  is independent to  $V$ .  $\theta$  is inclination of cutting oxygen jet to steel plate surface. Other factors, that is, plate thickness, pressure, flow and velocity of cutting oxygen, kind and flow of preheating gas, nozzle distance, size and type of tip are nearly independent of  $n$ .

Similarly, distance between top edge and folds or discontinuities of cut surface  $h$ , continued and parallel to top edge, varied by  $V$  as following experimental formula,

$$h = h_0 (V \times 10^{-2})^{-1},$$

where  $h_0$  is a numerical constant peculiar to velocity or quantities of cutting oxygen jet and of nozzle.

Roughness of cut surface increases slightly according to  $V$ , but it will not be over  $50 \mu$  at practical maximum cutting velocity, if any mechanical vibration transmitted to the nozzle tip.

The slag flow through a cut groove has great influence on the growth mechanism of drag line. This slag flow is considered to be a pulsatory stream with accurate period (if the cutting conditions are constant), which has been explained by analogy of model experiment to be forced movement of a viscous fluid under a high speed oxygen blast acting on the liquid surface.

## 目次

- まえがき
1. 切断面の特徴と切断諸因子との関係
  2. 実験
    - 2-1. 実験装置
    - 2-2. 実験方法
    - 2-3. 測定方法
      - 1) ドラグラインの密度 ( $n$ )
      - 2) 上縁から彎曲点までの距離 ( $h$ )
      - 3) アラサ ( $R$ )

## 3. 実験結果と解析

- 3-1. ドラグライン密度 ( $n$ ) と切断諸因子との関係
  - 1) 切断板厚の影響
  - 2) 予熱ガス流量の影響
  - 3) 予熱ガスの種類の影響
  - 4) 切断酸素流量の影響
  - 5) 切断酸素圧力の影響
  - 6) 切断酸素流速の影響
  - 7) 火口距離の影響
  - 8) 後熟焰の影響

\* 溶接工作部

\*\* 元溶接工作部

- 9) 切断速度の影響
  - 10) 火口傾斜角度の影響
  - 11) 市販鋼板についての調査
  - 3-2. 上縁から彎曲点までの距離 ( $h$ ) と切断諸因子との関係
    - 1) 切断酸素流量の影響
    - 2) 切断酸素流速の影響
    - 3) 火口傾斜角度の影響
    - 4) 切断速度の影響
  - 3-3. 切断面のアラサ ( $R$ ) と切断諸因子との関係
    - 1) 切断板厚の影響
    - 2) 切断速度の影響
  4. ガス切断面の生成に対する考察
    - 4-1. 熔融スラッグの流動とドラグライン密度について
      - 1) 熔融スラッグ流動の模型実験
        - (1) 実験装置
        - (2) グリセリン溶液の流動
      - 2) 液面上を吹く気流によって生じるドラグフォース
      - 3) 熔融スラッグの流れの検討
      - 4) ドラグライン密度の変化
    - 4-2. 彎曲発生について
    - 4-3. アラサについて
- 結 論  
参考文献

## まえがき

鋼材のガス切断面は機械切断面と異なり、鉄の燃焼反応によって生じた熔融スラッグが高速の酸素噴流によって吹き飛ばされるために、全面に細いしわができて極めて特徴的である。このガス切断面のしわの密度と深さおよび切断面の彎曲など形状的な表面状態は切断因子の変動によって強く影響を受ける。

本研究はこれらの形状的特徴と切断諸因子との関係を実験的に追求し、種々の規則性のあることを確かめ、さらにそれらの特徴が生成される機構については一部模型実験を加えて考察をおこなった。

### 1. 切断面の特徴と切断諸因子との関係

図1はガス切断中の切溝の内部を模型的に示したものである。切断酸素噴流は  $1\sim 10 \text{ kg/cm}^2$  の圧力で火口から噴き出し、すでに燃焼状態にある切溝の中に入り、鉄と燃焼反応を続けると同時に、燃焼反応によ

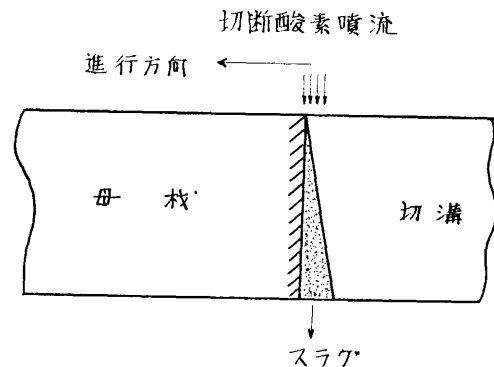


図1 切断面の模様

て生じた酸化鉄を主とする熔融スラッグを切溝の外に吹き飛ばす。このようにして、切断がおこなわれている切溝の前端部では、熔融スラッグが上縁より下縁に向けて流れる間に逐次量を増す。この前端部の母材の表面は熔融スラッグに覆われ、切断酸素は熔融スラッグを介して母材と反応しているものと考えられる。

したがって、切溝の側壁すなわち切断面の表面状態は熔融スラッグの挙動に強く影響を受けることは明らかであって、切断面の形状的特徴は当然切断の機構に直接関連があり、各切断諸因子との間に規則性を持っていると考えられる。そこで形状的特徴の切断面のしわ(ドラグライン)の密度とそのオオトツの深さ(アラサ)および切断面上縁から彎曲点までの距離の3種について切断諸因子との関係を求める。

## 2. 実 験

### 2-1. 実験装置

写真1(a)は切断実験装置の全体であって、中央は火口を装着した自動ガス切断機と三角形の切断実験材、右は各種ガス流量計、左は電気歪計式圧力計である。この圧力計は著者等が実験値の正確を期するために考案試作したものであって、図2にその構造を示す。写真1(b)は切断の際の機械的振動を除くために火口を旋盤の往復台に装着したところを示し、火口は傾斜切断の姿勢である。

### 2-2. 実験方法

切断諸因子を表1の通り選んだ。

火口は切断酸素噴出孔径ならびに切断酸素の流量、流速などによりストレート形を6種、ダイバーゼント形を9種選び、切断酸素圧力、流量および流速、予

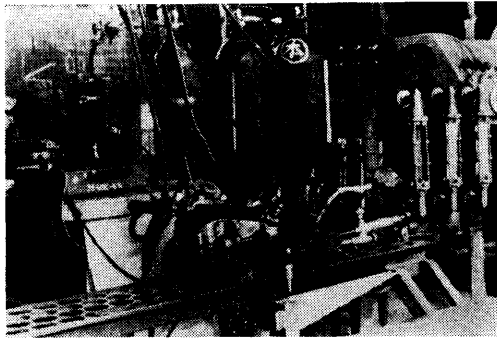


写真 1(a) 切断実験装置

右：ガス流量計（酸素，アセチレン，プロパン用）  
 中央：自動ガス切断機（実験火口，圧力ゲージを装着したところ）切断実験材（三角板）  
 左：電気歪計式圧力計

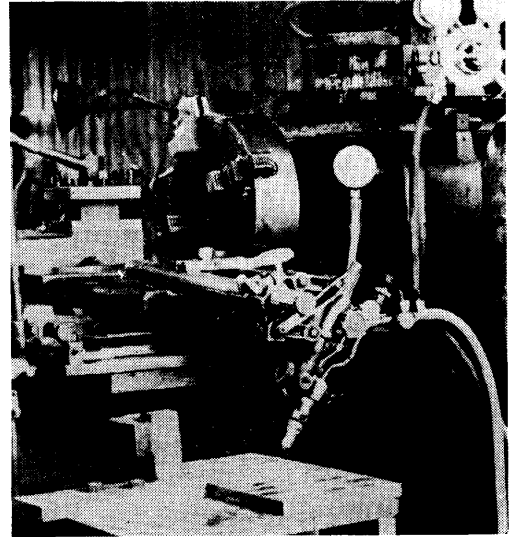


写真 1(b) 切断実験装置  
 (旋盤の往復台を利用したもの)

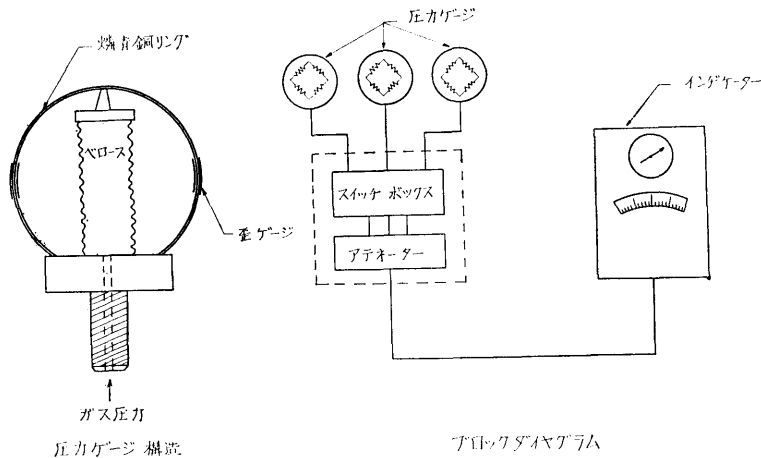


図 2 電気歪計式圧力計の構造

熱ガスの種類および流量，火口距離，火口傾斜角度および切断板厚などの諸因子を変化せしめた。ダイバージェント形火口は著者等が電解鋳造法によって製作\*したものであって，切断酸素噴出孔の形は入口圧力および所要流量に応じた拡大比を持っている。火口の外形は写真 2 に，詳細は表 2 の通りである。

切断酸素圧力の影響については同一のストレート形火口により酸素圧力を変えることによって実験をおこない，切断酸素流量の影響については切断酸素孔径の異なるストレート形火口 4 種とダイバージェント形火

口 1 種の計 5 種によって比較した。また切断酸素流速の影響はストレート形火口 ( $M=1.0$ ) と各種ダイバージェント形火口 ( $M=1.8\sim 2.2$ ) によって比較した。

予熱孔の形式は現在使用上ならびに製作上の観点から同心円形と同心孔形の 2 様式となっており，何れも切断酸素噴出孔に対して円対称に配置されているが，切断の進行方向の後方すなわち切溝の中に予熱焔が入らない場の影響を確めるため，特に同心孔形火口の予熱孔の 1 部を塞いだ非対称形の火口も作って実験した。

表 1 切断諸因子および選択範囲

切断因子	選 択 範 囲	
火口の形式	ストレート形	ダイバージェント形
切断酸素噴出孔径 mm	1.1 ~ 2.3 (6種類)	0.9 ~ 2.1 (9種類)
切断酸素圧力 kg/cm <sup>2</sup>	1 ~ 5	5. 7. 10.
切断酸素流量 ℓ/h	1000 ~ 12900	4.000 ~ 12.000
切断酸素流速 M	1.	1.8 2.0 2.2
予熱アセチレン流量 ℓ/h	200 ~ 500	
アセチレン・プロパン混合比%	100 : 0	50 : 50 0 : 100
予熱孔の形式	同心円形 同心孔形 非対称形 (後部予熱燃孔)	
火口距離 mm	3 ~ 12.5	
火口傾斜角度 $\theta$	-50° ~ +50°	
切断速度 mm/min	100 ~ 1.200	
切断板厚 mm	20 ~ 120	

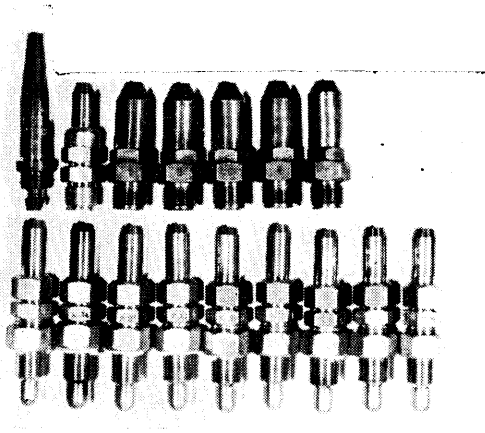


写真 2 実験用ガス切断火口  
上段 ストレート形  
下段 ダイバージェント形

傾斜切断の場合の火口の傾斜は進行方向に対して火口先端が後向きの場合を + とし、その反対を - とした。角度は垂直線に対するものである。

切断実験材は板厚 20 mm までは鋼板をそのまま使用し、20 mm を超えるものについては板厚 50 mm の鋼板を斜辺の傾きが 1 : 5 の三角形とし、写真 1 (a) のように右端から左端に鋼板を垂直に 2 等分す

るように切断する。この方法によれば板厚の変化の影響を連続して求めることができる。

### 2-3. 測定方法

#### 1) ドラグラインの密度 ( $n$ )

ドラグラインは写真 3 (I), (II) および写真 4 のごとく切断面の長さ方向を横切っている。よって切断長 1 cm に含まれる線の数をドラグラインの密度とし  $n$  で表わすことにする。

ドラグライン数を測るには、(1)切断面の上で直接数える、(2)切断面の写真から測る、(3)触針アラサ計の記録紙から読みとる、(4)切断面に白紙を当て、その上から鉛筆でなでて浮きでた線を読みとるなどの方法を試みた。

大部分の切断面は(1)の方法により測定し、1部は(4)の方法によった。読みとりは最小口盛 0.1 mm、倍率 7 のルーペでドラグラインを数えた。写真 3 (I) (II) は(4)の方法の 1 例である。

#### 2) 上縁から彎曲点までの距離 ( $h$ )

写真 4 は彎曲した切断面の例である。

彎曲部は上縁に平行し、ときには 2 段あるいは 3 段におよぶ場合もある。

彎曲の折れ曲り点、すなわち彎曲点から上縁までの距離 (mm) をスケールまたはルーペで測って  $h$  で表

表 2 実験用ガス切断火口の諸元

火口			切断酸素			予熱アセチレン				
形式	種類	孔径 mm	流 量 $l/h$			孔面積 mm <sup>2</sup>	流 量 $l/h$	孔 形 状		配 置
			圧 力 kg/cm <sup>2</sup>	3 "	5 "			d1 mm	d2 mm	
ス ト レ ー ト 形	S-1	1.1	1.000	1900	2800	36	200~500	3.85	3.2	S d1 d2
	S-2	1.3	1.600	3100	4600	"	"	"	"	
	S-3	1.7	2.400	4600	6900	"	"	"	"	
	S-4	2.0	3.100	6400	9700	"	"	"	"	
	S-5	2.3	4.100	8500	12900	4.8	"	4.7	4.0	
	P-2	1.4		2.000		約7.0	"	4.8	3.3	P
ダ イ バ ー ジ エ ン ト 形	D5-12	1.2	圧 力 5 kg/cm <sup>2</sup>	4.000		2.9	"	4.0	3.5	D d1 d2
	D5-14	1.4	" "	5.000		6.4	"	4.6	3.6	
	D5-21	2.1	" "	12.000		5.7	"	5.5	4.8	
	D7-10	1.0	7 "	4.000		2.9	"	4.0	3.5	
	D7-12	1.2	" "	5.000		3.6	"	3.9	3.3	
	D7-18	1.8	" "	12.000		5.3	"	5.2	4.5	
	D10-09	0.9	10 "	4.000		2.9	"	4.0	3.5	
	D10-10	1.0	" "	5.000		4.0	"	4.0	3.3	
	D10-15	1.5	" "	12.000		4.4	"	5.0	4.4	

S..... アセチレン用ストレート形火口  
 P..... アロパン用ストレート形火口  
 D..... アセチレン用ダイバージェント形火口

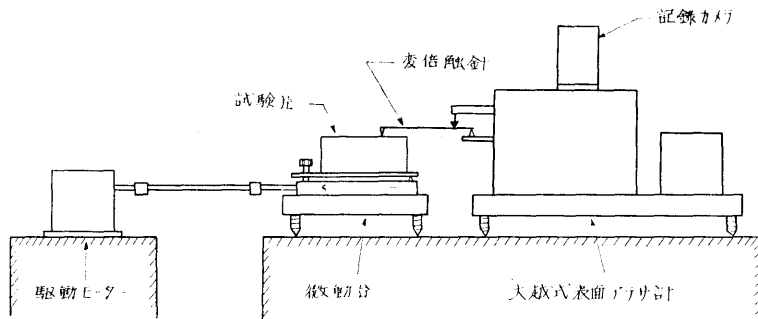


図 3 ブラサ計測装置

切斷速度 (V) mm/min	火口傾斜角 (θ°)	0°	30°
200			
300			
350			
400			
450			
500			
600			
700			
800			
900			
1000			

(I) ストレート形火口 : S2, P3 kg/cm<sup>2</sup> の場合

切斷速度 (V) mm/min	火口傾斜角 (θ°)	0°	30°
200			
300			
350			
400			
500			
600			
700			
800			
900			
1000			
1100			
1200			

(II) ダイバージェント形火口 : D7-12 の場合

写真 3 ガス切断面のドラグラインの例

切斷速度 (V) mm/min	200	
	250	
	300	
	350	
	400	
	500	
	600	
	700	

写真 4 ガス切断面のドラグラインおよび彎曲の例

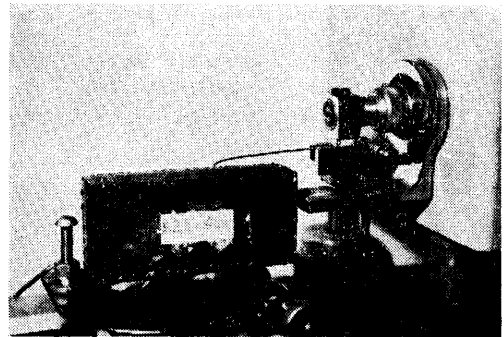


写真 5 アラサ計測の様様

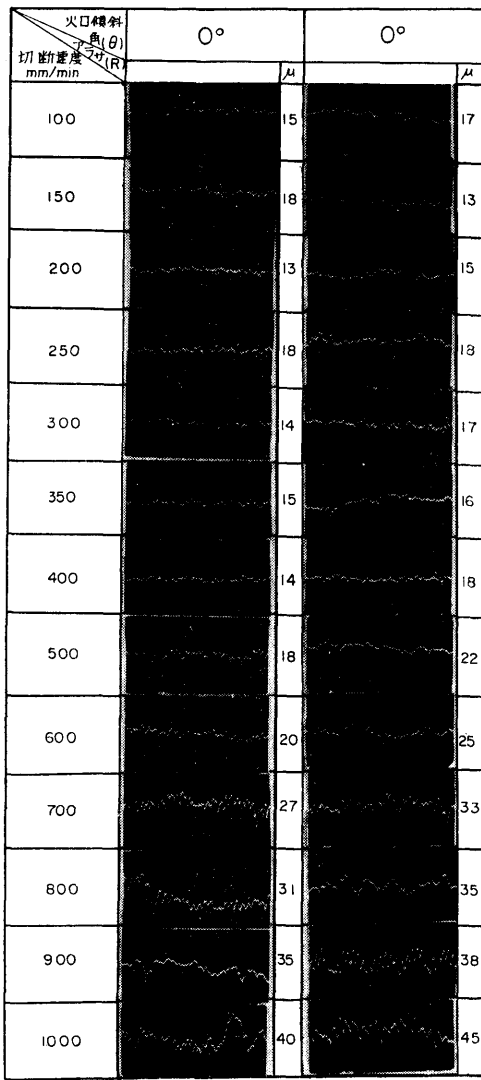
(変倍アタッチメントを付けたところ)

わす。

3) アラサ (R)

触針式アラサ計によって切断面のオオトツを記録し、その平均の高さ  $R$  を 0.001 mm 単位 ( $\mu$ ) で表わした。

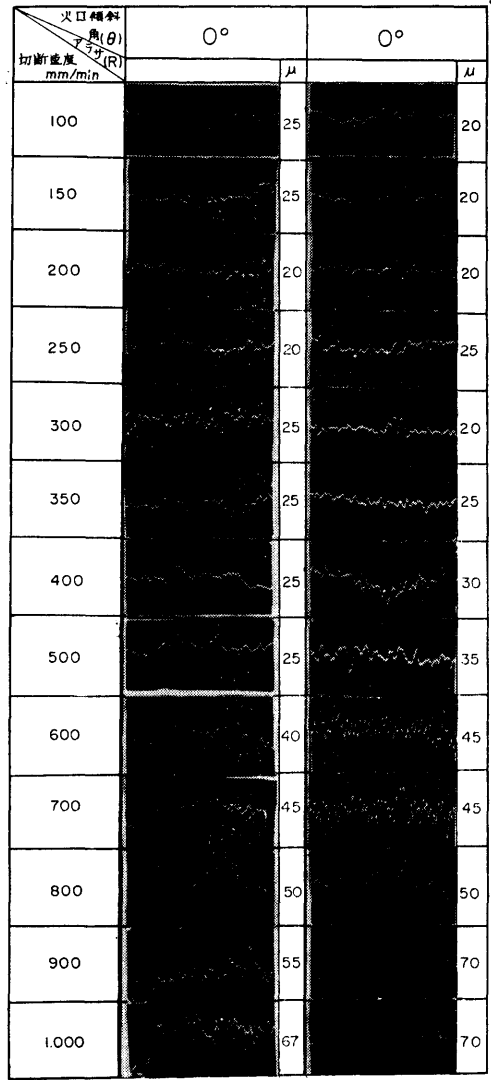
触針式アラサ計で計測中の様様が図 3 および写真 5



(ストレート形火口) (ダイバーゼット形火口)

x100 x25

(I) 機械的振動を含まぬ場合



(ストレート形火口) (ダイバーゼット形火口)

x100 x25

(II) 機械的振動を含む場合(自動ガス切断機)

写真 6 ガス切断面のアラサ (R) の記録例

である。触針はこの場合変倍アタッチメントに付けられ、任意の拡大倍率とすることができる。

記録の例を写真 6 (I)(II)に示す。拡大率はオオトツを 100 倍とし、長さ方向を 25 倍としてある。

面のアラサで特に問題になるのはうねりと称する長い波長の大きいオオトツである。この実験では火口を旋盤の往復台に装着し、親ネジの送りによって移動して切断をおこなったので、機械的振動によるうねりの

入ることを防ぐことができた。

### 3. 実験結果と解析

#### 3-1. ドラグライン密度 (n) と切断諸因子との関係

##### 1) 切断板厚の影響

図 4 はストレート形火口の S4 を用いて切断板厚と切断速度のみを変えた場合であるが、切断速度が一定ならば板厚は n に無関係である。

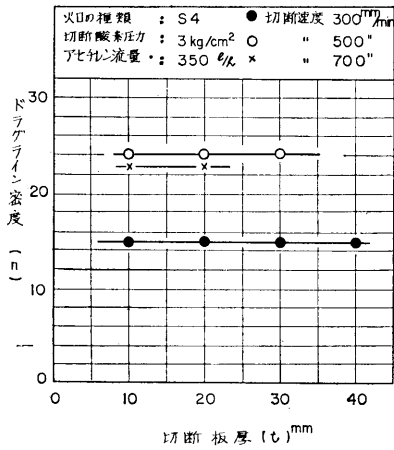


図4 切断板厚 (t) とドラグライン密度 (n)

2) 予熱ガス流量の影響

図5によれば切断速度が一定ならばアセチレン流量の影響はない。この結果から他のガスを用いても流量による n の変化は起らないものと推測される。

3) 予熱ガスの種類の影響

図6はアセチレンとプロパンの単独ガスならびに両者の混合ガスを用いた場合であるが、ガスの種類は n に影響がないことを示している。

4) 切断酸素流量の影響

ストレート形火口 S1~S4 およびダイバージェント形火口 D7-12 の5種を用いた。ストレート形火口は切断酸素圧力を 3 kg/cm<sup>2</sup> に一定、ダイバージェント形火口は設計圧力とし、流量を 1,900~6,400 l/h の

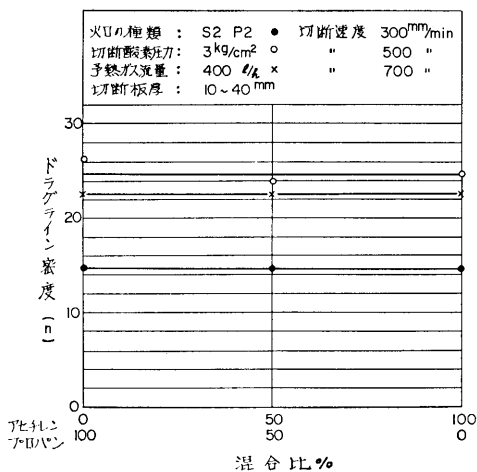


図6 予熱ガスの種類とドラグライン密度 (n)

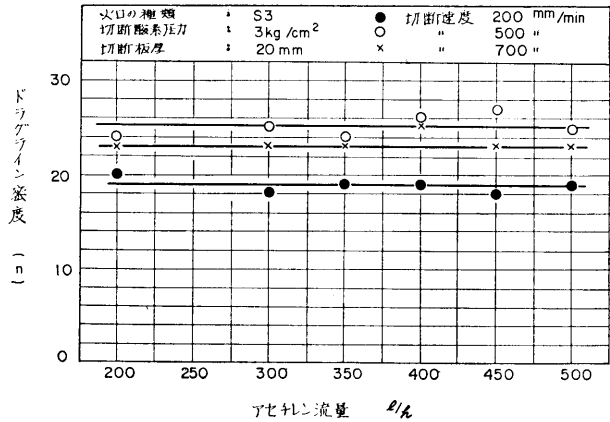


図5 予熱ガスの流量とドラグライン密度 (n)

範囲で変化したが、切断速度が同一の場合には図7に示す通り n は一定である。

5) 切断酸素圧力の影響

同一火口により切断酸素圧力を 2.0~5.0 kg/cm<sup>2</sup> に変えた場合は図8に示す通り n の値に圧力が影響をおよぼしていない。この場合には切断酸素の圧力の変化にともなって切断酸素の流量も変化しているが、4)で流量の影響のないことが明らかであるから、圧力についても影響がないといえる。

6) 切断酸素流速の影響

切断酸素流量約 5,000 l/h のストレート形火口 S3 とダイバージェント形火口 D5-14, D7-12 および D10-10 の4種を用いた。切断酸素の流速はそれぞれ

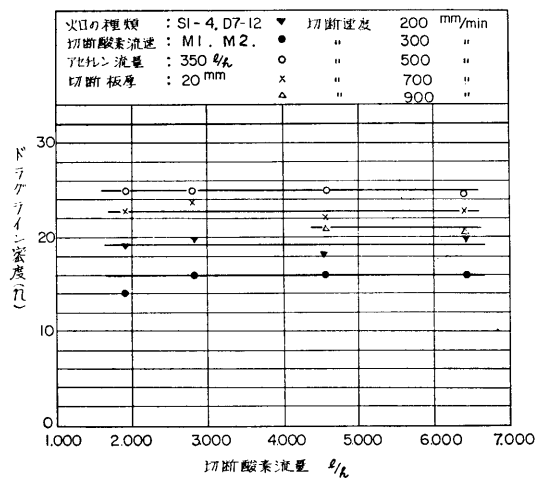


図7 切断酸素流量とドラグライン密度 (n)



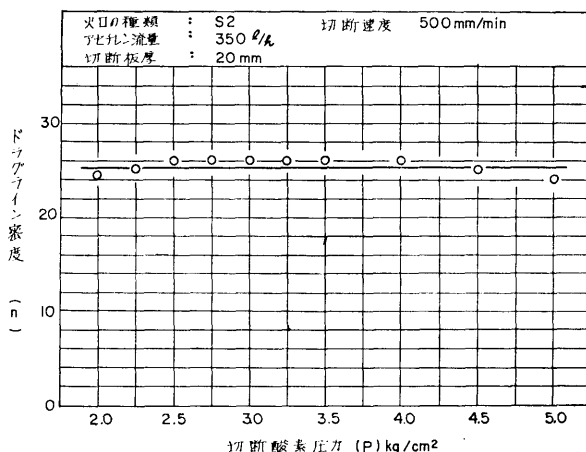


図 8 切断酸素圧力 (P) とドラグライン密度 (n)

M=1.0, 1.8, 2.0 および 2.2 であるが、図 9 に示す通り流速も n に略々無関係である。

したがって、4)、5) および 6) の実験結果を総合すると現在市販されているガス切断用火口の何れを用いても n の変化はないであろう。

7) 火口距離の影響

図 10 は火口距離を 3~12.5 mm に変えた場合であるが火口距離は n に影響をおよぼさないことを示している。

8) 後熱焰の影響

同心孔形火口の予熱孔の後半分を塞ぎ、切断点の前方のみを加熱して切断直後の切溝には火焰が入らない

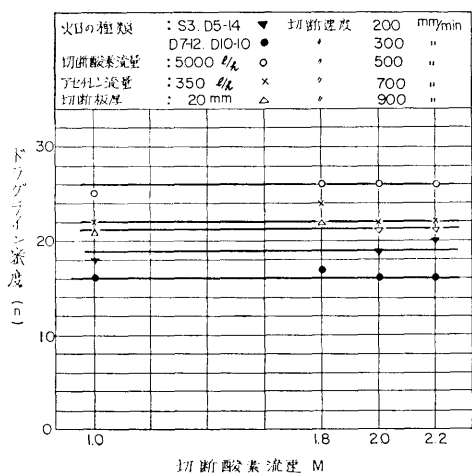


図 9 切断酸素流速 (M) とドラグライン密度 (n)

場合を試みたが、全く n の変化を認めなかった。また切溝に大きな火焰を吹込むために別の火口を追跡せしめた場合も試みたが n に変化がなく、ドラグラインは切断と同時に形成され、他からの影響を受け難いものであると判断される。

9) 切断速度の影響

供試火口 (ストレート形およびダイバージェント形) の全部について切断速度 (V) を 50~100 mm/min づつ変え、火口の傾斜角度 0° で切断した結果をまとめたものが図 11 である。

実験値の分布は明らかに規則性を示している。V=400 mm/min を境として n の値が飛躍しているが、平均直線の傾斜角度は等しく、V の増加にしたがって n は減少する。

V=400 mm/min において中間位置にあたる点に相当する切断面を観察すると、ドラグラインの間隔が不規則である。2つのグループが混在する不安定な領域と考えられる。

図中、上方に平均線を破線で描いてある極めて n の大きい点の切断面は、その出現数がはなはだ少なく、発生条件も不明であるが、この平均線に属するグループの存在が明らかであって無視することはできない。

図11の平均線は次の実験式で表わすことができる。

$$n = n_0 (V \times 10^{-2})^m \quad \dots (1)$$

本式において n<sub>0</sub> は V=100 mm/min におけるドラグライン密度を表わし、m は定数であって、それぞ

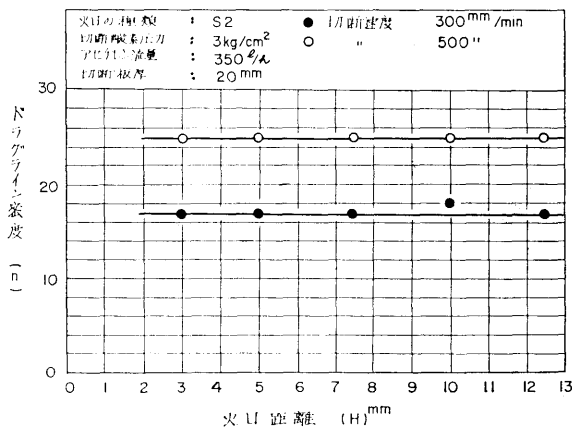


図10 火口距離 (H) とドラグライン密度 (n)

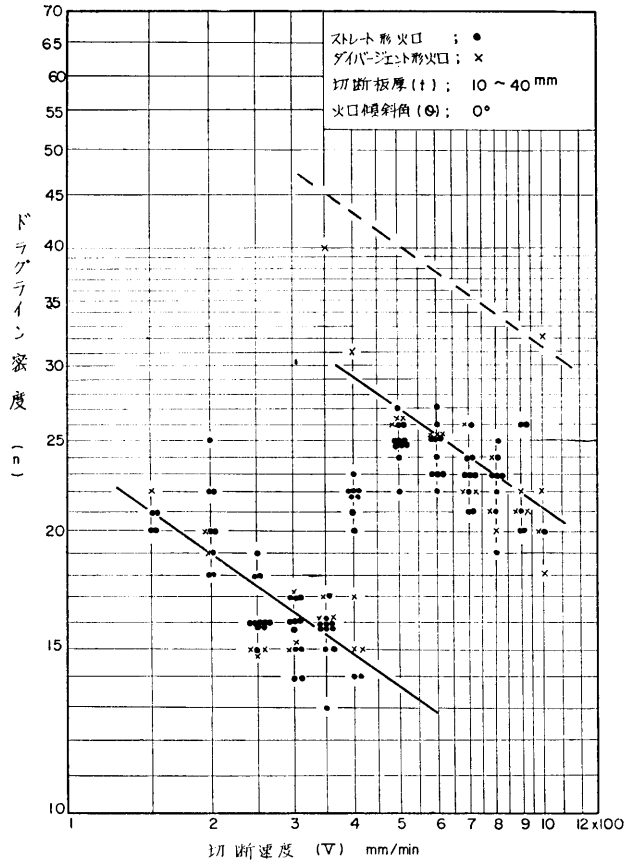


図11 切断速度 (V) とドラグライン密度 (n)

れ次の値である。

$$m = -0.35$$

$$n_0 = 24 \text{ (ただし } V \leq 400 \text{ mm/min)}$$

$$n_0 = 47 \text{ (ただし } V \geq 400 \text{ mm/min)}$$

まれに発生する密度の大きい切断面に対しては、

$$n_0 = 70 \text{ (ただし } V \geq 400 \text{ mm/min)}$$

10) 火口傾斜角度の影響

火口が鋼板に対して傾斜した場合の火口の移動速度は見掛けの切断速度(V)であって、切断酸素噴流が鋼板を切り進む真の切断速度(V<sub>0</sub>)は噴流に直角方向へのVの分速度である。すなわち V<sub>0</sub> = V cos θ である。

傾斜切断の切断面について切断酸素噴流に直角方向にドラグラインの密度を測り、真の切断速度(V<sub>0</sub>)について整理すると図12(I)-1, (I)-2, (II)-1, (II)-2のごとく図11とほとんど同じ結果になる。すなわち火口の傾斜角度の影響を含めると式(1)は、

$$(218)$$

$$n = n_0 (V \cos \theta \times 10^{-2})^m \dots\dots(2)$$

となる。ただし n<sub>0</sub> および m は式(1)の場合と等しい。V は鋼板の上面に平行に走る火口の移動速度であって、実用上の切断速度である。

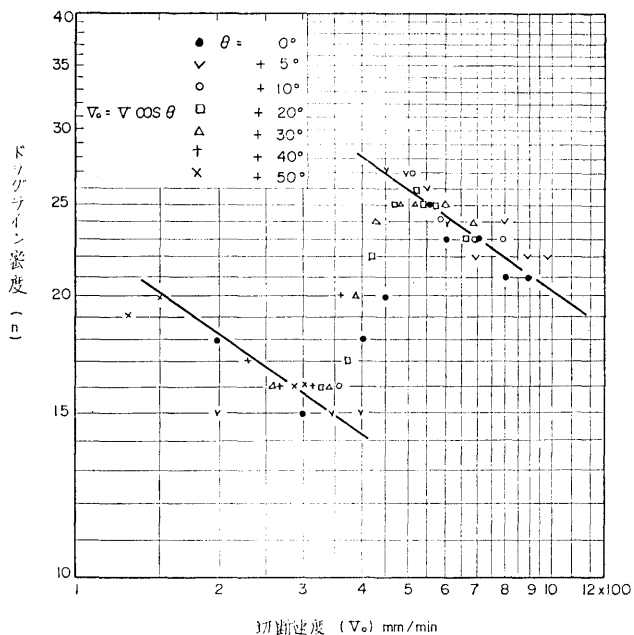
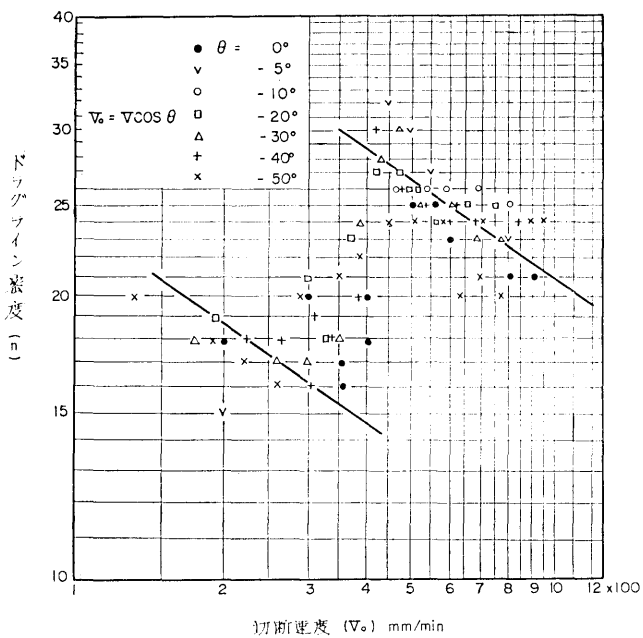
11) 市販鋼板についての調査

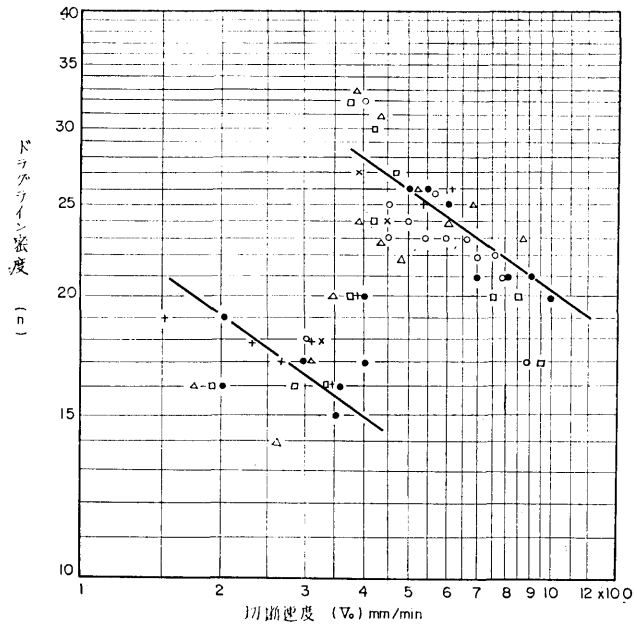
製鉄所、造船所などでガス切断された厚さの異なる鋼板について n 値を測定した結果を表3に示す。

n の値は実験で得られたものほぼ同じ範囲内にあり、板厚 20mm 以下では n が 20 を超え、20mm 以上では 20 に達しない。前者は切断速度が 400 mm/min 以上であり、後者は 400 mm/min 以下であったと考えられる。

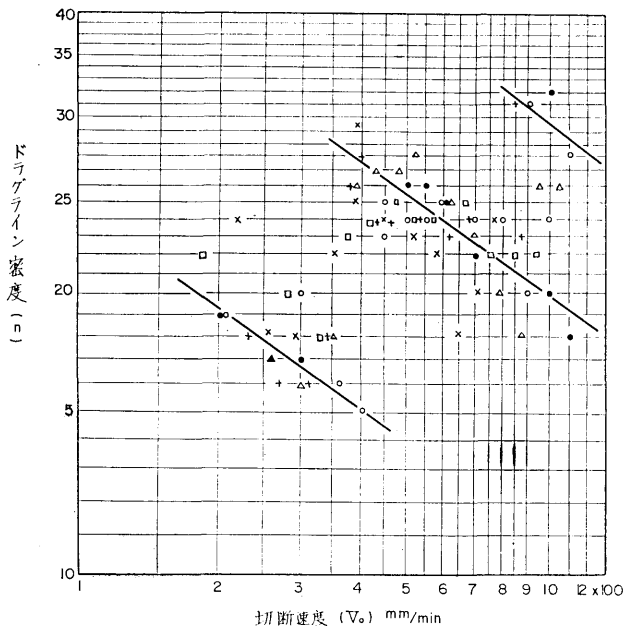
3-2. 上縁から彎曲点までの距離 (h) と切断諸因子との関係

火口の種類、切断酸素圧力および切断速度を変化せしめた実験で発生した上縁から彎曲点までの h の値を表4に示す。同一欄内に2種の数字があるのは彎曲が

(I)-1 ストレート形火口 (S3-3 kg/cm<sup>2</sup>)  $\theta = +$  の場合(I)-2 ストレート形火口 (S3-3 kg/cm<sup>2</sup>)  $\theta = -$  の場合



(II)-1 ダイバージェント形火口 (D7-12)  $\theta=+$ の場合



(II)-2 ダイバージェント形火口 (D7-12)  $\theta=-$ の場合

図12 火口傾斜角 ( $\theta$ ) とドラグライン密度 ( $n$ )

表 3 市販鋼板における板厚とドラグライン密度 (n) の例

試験片番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
板厚 mm	13	18		19			20			24	31	45	48	
ドラグライン密度 (n)	25	23	23	20	20	22	23 ~ 35	32	14	25	18	16 ~ 24	14	14

表 4 火口の種類, 切断酸素圧力 (P) および切断速度 (V) と彎曲点の距離 (h)

火口距離 (H) 10 mm  
アセチレン流量 (Q) 350 ㉔/h  
切断板厚 (t) 20mm

火口の 種類	切断速度 (V) m/min 切断酸素圧力 (P) kg/cm <sup>2</sup>	彎曲点の距離 (h) mm													
		100	150	200	250	300	350	400	500	600	700	800	900	1,000	
S1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3	-	-	-	-	6, 11	5, 10.5	4, 8.5	4, 8	3, 6	-	-	-	-	
	5	-	-	-	-	-	-	7.5, 14	6, -	6, 11	5.5, 8	5, -	-	-	
S2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3	-	-	-	-	-	-	-	6, 16	5, 14	4.5, 12	4.5, -	4, -	-	
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	9, -	9, 14	8, 14	7, 12	-	
S3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3	-	-	-	-	-	-	-	9, -	7, 20	6, 16	5, 15	-	-	-
	5	-	-	-	-	-, (17)	-, (16)	-, (15)	-, (15)	-, (13)	-, (12)	-, 10	-, 10	-, 8	
S4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11, -	8, -	-	-	
	3	-	-	-	-	-	-	-	8, -	6.5, 20	5.5, 16	5, 15	4, 12	-	
	5	-	15, -	13, -	12, -	10, -	10, -	8, -	6, -	3, -	2, -	2, 13.5	1.5, 10	1, 8	
D5-14	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.5, -	4, 12	3.5, 11	-	
D7-12	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.5, -	5, -	4.5, -	
D10-10	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7, -	6.5, -	5, -	

上下2段あるものであって、左側が上縁に近い上段、右側が下段を示している。

また ( ) は彎曲点がやや不明瞭なものである。

1) 切断酸素流量の影響

表4の値を切断酸素流量をパラメータとして整理すると図13となる。本図で明らかのように、V と h との関係はそれぞれ流量に関係なく、いづれの傾向線も平行であって、流量が増すにしたがって上縁よりの距離は大きくなる。

2) 切断酸素流速の影響

切断酸素の流速をパラメータとした場合は図14である。

M=1.0~1.8 はほぼ同一傾向線上にあるが、さらに流速が大きくなると次第に傾向線の位置が上方に移動し、彎曲点が上縁から遠ざかることを示している。

表 5 火口傾斜角度 (θ) と彎曲点の距離 (h) mm

火口の種類 および 切断酸素圧力	傾斜角 (θ)	切断速度 (V) m <sup>2</sup> /min							
		300	400	500	600	700	800	900	1000
ストレート形火口 (S-2) 圧力 2 kg/cm <sup>2</sup>	0°	-	-	6.16	5.14	5.5, 14	4.5, -	4, -	-
	+30°	-	-	-	-	-	-	-	-
	-30°	-	-	-	-	8	7	-	-
ダイバーゼント 形火口 (D7-12) 圧力 7 kg/cm <sup>2</sup>	0	-	-	-	-	-	5.5, -	5, -	4.5, -
	+20~+50	-	-	-	-	-	-	-	-
	-20	-	-	-	-	-	-	-	-
	-30	-	-	-	-	-	-	-	15
	-40~-50	-	-	-	-	-	-	-	-

3) 火口傾斜角度の影響

火口が傾斜した場合の彎曲の発生は表5に示す通り、直角切断 (θ=0°) よりも発生が少なく、かつ見

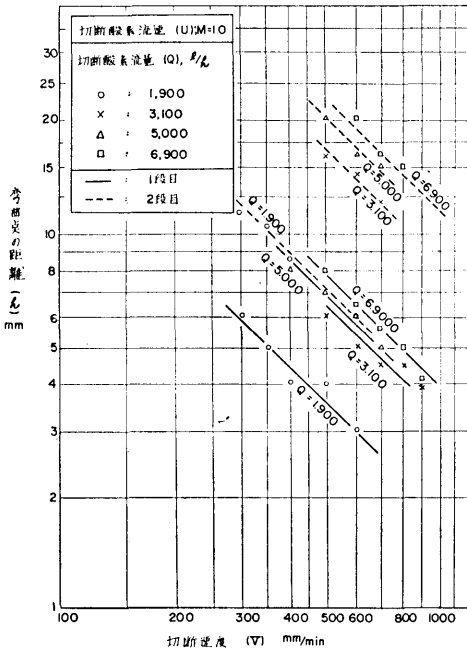


図13 切断酸素流量 (Q) と彎曲点の距離 (h)

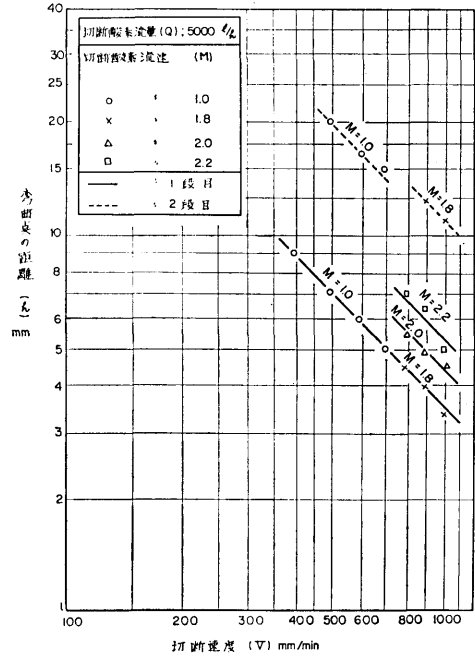
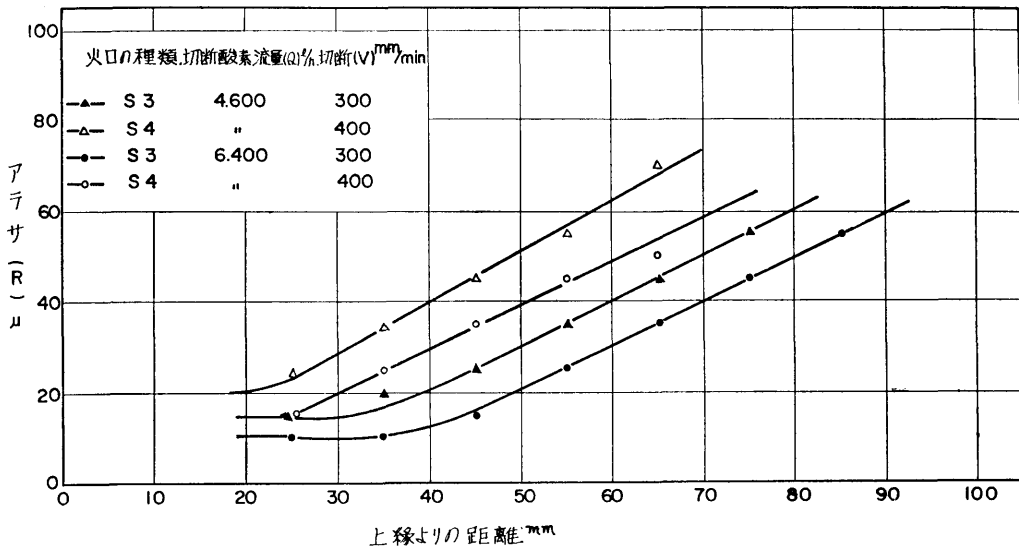
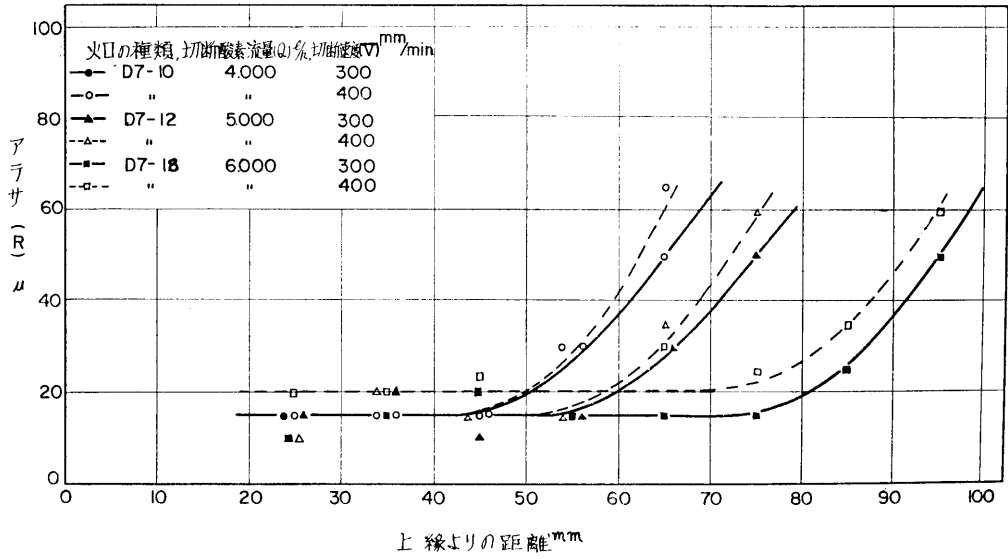


図14 切断酸素流速 (M) と彎曲点の距離 (h)



(I) ストレート形火口



(II) ダイバージェント形火口  
 図15 上縁よりの距離とアラサ (R)

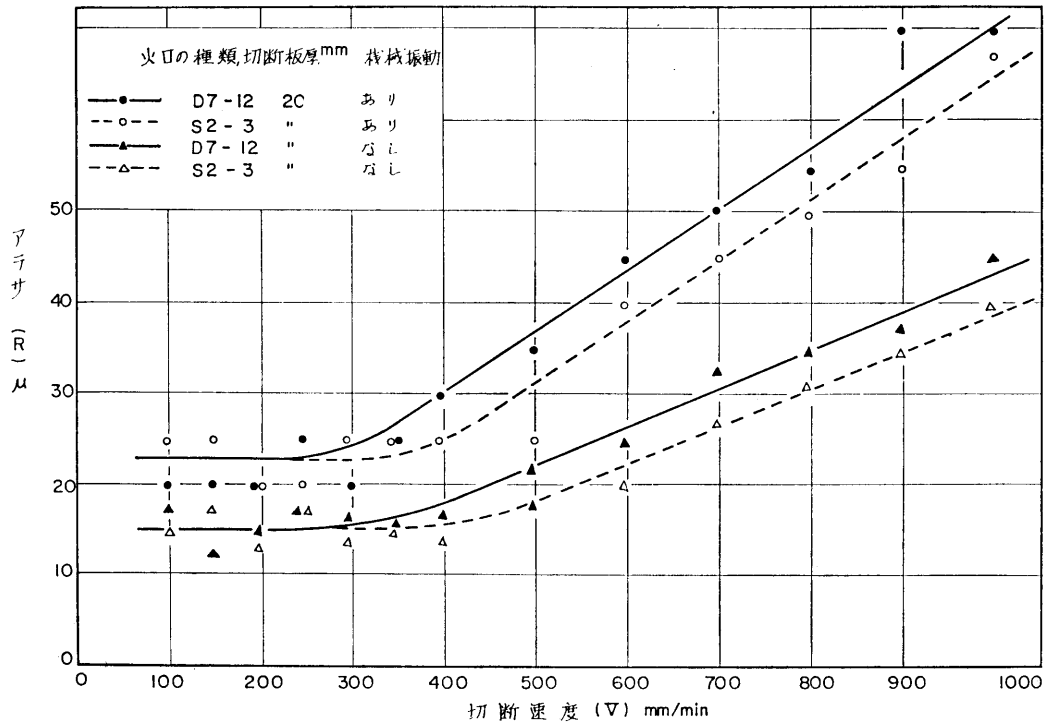


図16 切断速度 (V) とアラサ (R)

掛けの切断速度 ( $V$ ) については発生が遅れる。ただし真の切断速度 ( $V_0$ ) に換算すると、最初に彎曲の発生する切断速度はほぼ等しい。

#### 4) 切断速度の影響

図 13 および図 14 から明らかなように、 $h$  と  $V$  との関係は  $V$  が増すにしたがって、反比例的に  $h$  は上縁に近づく。この傾向を実験式で表わすと

$$h = h_0 (V \times 10^{-2})^{-1} \quad \dots\dots(3)$$

ただし  $h_0$  は切断酸素流量あるいは流速によって定まる値であって、 $V=100$  mm/min における  $h$  に等しい。

### 3-3. 切断面のアラサ ( $R$ ) と切断諸因子との関係

#### 1) 切断板厚の影響

図 15 (I) (II) は三角板の切断実験材の上縁からの距離とアラサの関係を示す実験値である。ストレート形火口の場合には上縁より 30 mm 程度以上はアラサが大きくなるのに対して、ダイバージェント形火口では 50 mm を超えてからアラサが急激に増大する。この相違は切断酸素の流速の差によるものか否かはいまだ確かめていないが、厚板の切断には実用上ダイバージェント形火口が有利である。

#### 2) 切断速度の影響

ストレート形火口とダイバージェント形火口による切断速度とアラサとの関係を図 16 に示す。上方の平均線は一般に広く使用されている自動ガス切断機がルール上を走行して切断した場合であり、下方は旋盤の

往復台に火口を装着して切断した場合である。

$V=300$  mm/min までは  $R$  は変らないが、400 mm/min より  $V$  が大きい範囲ではほぼ  $V$  と  $R$  は比例する。特に下方の平均線は機械的振動を含み場合の切断面のものであるからガス切断の基本的な切断機構によって生ずるアラサと考えられる。したがってガス切断の実用切断速度が 1,000 mm/min に達しない現在ではガス切断面の本質的なアラサは  $50 \mu$  を超えないことになる。ただし自動ガス切断機の駆動系に振動が生じたり、ルールにオオトツがあるため火口に振動が伝わる場合には飛躍的にアラサは増大する。

なお板厚 20 mm の切断面のアラサについてダイバージェント形火口とストレート形火口を比較すると前者は後者に比して  $R$  が大きい。

### 4. ガス切断面の生成に対する考察

ガス切断面ができる過程を肉眼で観察することはもとより、写真または計器によって知ることもはなはだ困難であって、従来から明確な説明がなされていない。しかしながら 3 に述べた通り切断面の特徴と切断因子との間には予熱焰のごとくほとんど無関係のものもあり、切断速度とドラグライン密度のごとき規則性もある。このような規則性のあるものについて二、三の考察を加える。

#### 4-1. 熔融スラグの流動とドラグライン密度について

ガス切断中の切溝の壁面は熔融スラグに覆われ、し

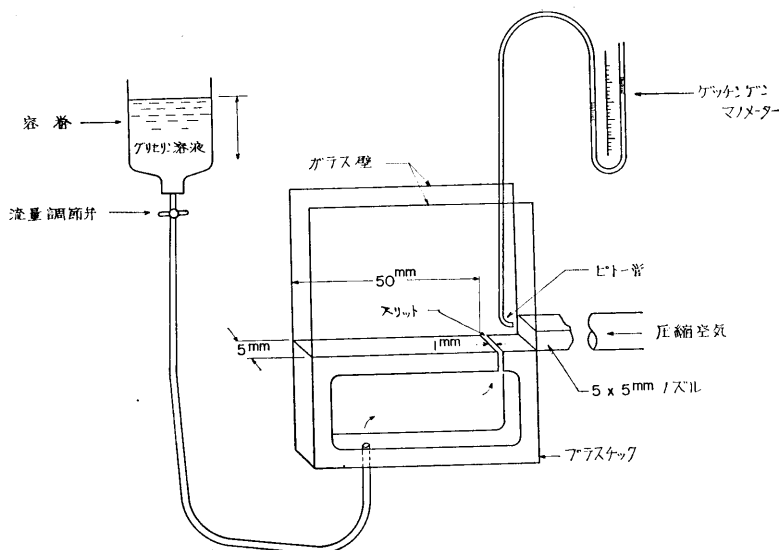
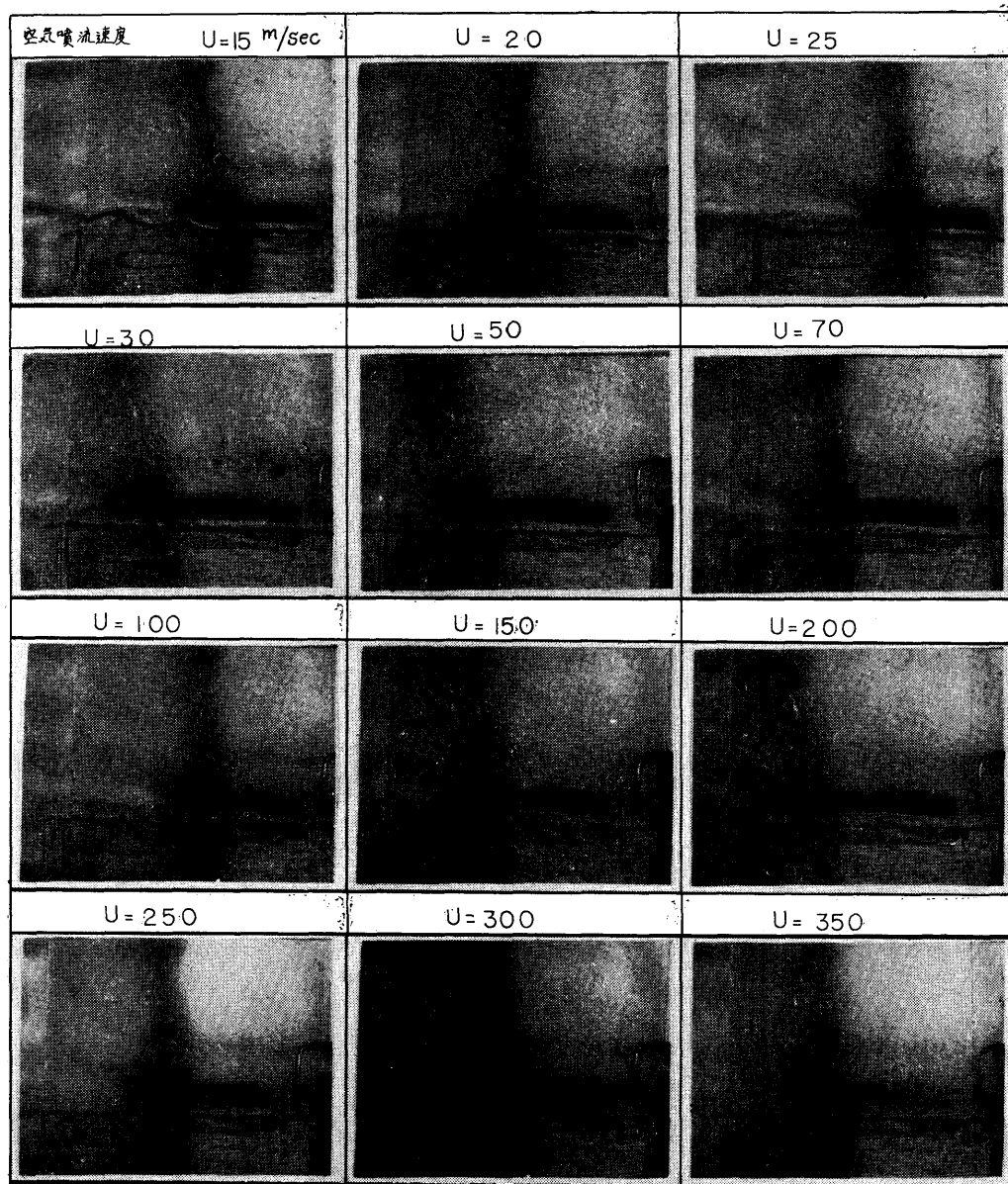


図 17 グリセリン溶液によるスラグ流動模型実験装置



かも溶融スラグは切溝を上縁から下縁に向って相当の高速で流れている。切溝の前端部の母材は溶融スラグ層を介して酸素と反応して発熱しつつ切断が進行することは前にも述べたが、溶融スラグの流れが一樣かつ平滑な流れであるならば、燃焼反応も定常的な変化のない進行であって、ドラグラインのごとき変動の跡は残らないはずである。しかるに自由表面を有する液体

である溶融スラグが自重および切断酸素噴流の強制力により、壁面との摩擦抵抗に打ち勝って流下する場合には表面にオオトツを生じ、波立った状態になっていることは最もありうる状態である。もし表面が波立っているならば、波の移動にともなって溶融スラグの厚さに変化が生じ、母材と酸素の反応の強さも変化する。この変化の痕跡がドラグラインと考えられる。



(I) 流量 (Q); 5 cc/min の場合

## 1) 溶融スラグ流動の模型実験

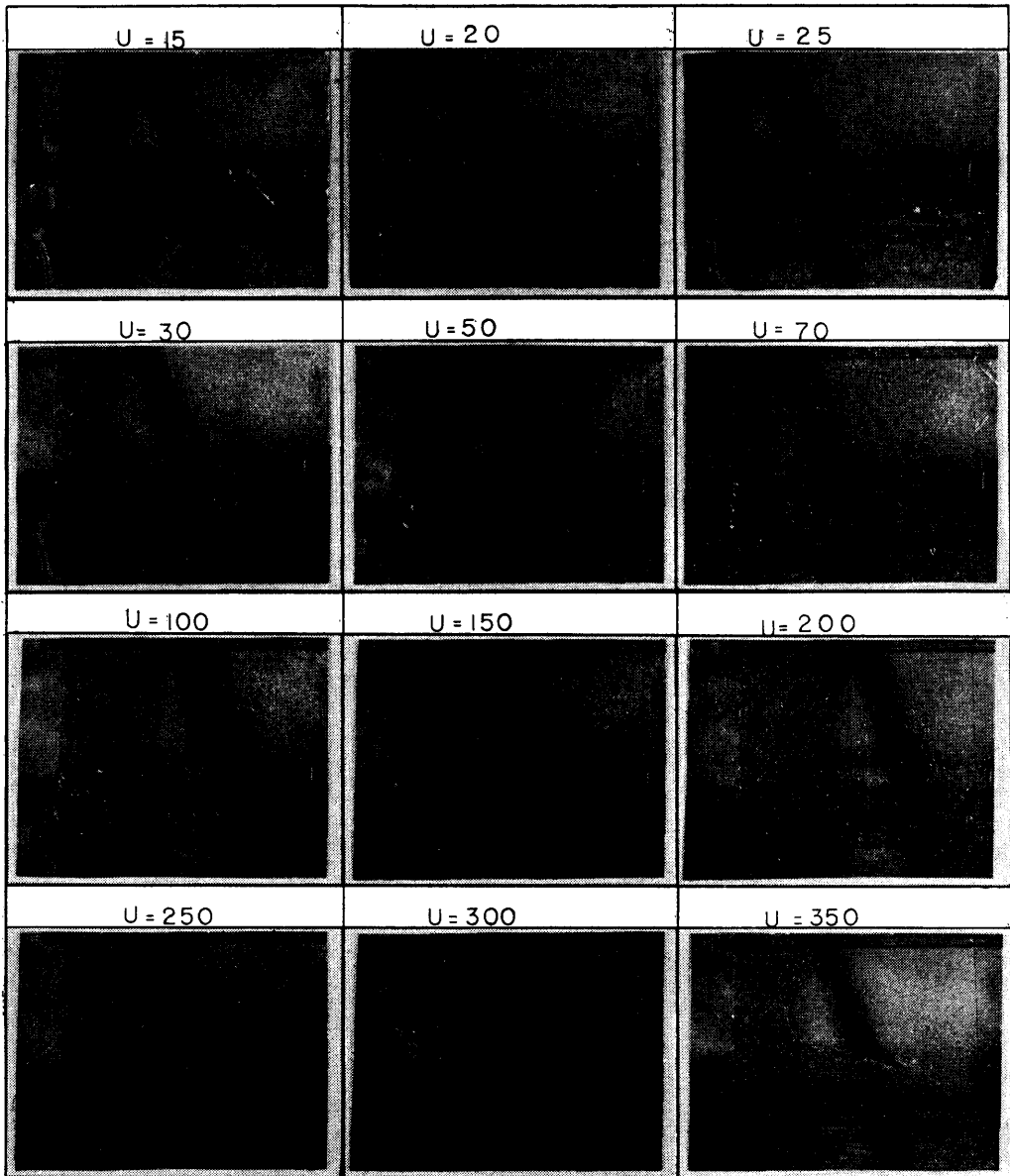
切溝の中を流れる溶融スラグを観測することができないので、模型により粘性液体が狭い溝の中を流動するときの挙動を観察し、あわせてその変化を切断実験の結果と対比した。

溶融スラグと近似した比重、表面張力および粘性係数を有する常温の液体を求めることができないので、

粘性係数を等しくしたグリセリン水溶液をガラスとプラスチックで作った溝に流して、壁面を濡らして流動する模様を定性的に観察した。

## (1) 実験装置

図17は装置の主要部を示す。2枚のガラスが5mmの間隔で平行に向い、精密に機械仕上げをしたプラスチックの底が挟まれている部分が切溝、ガラスの部分



(II) 流量 (Q): 46 cc/min の場合  
写真 7 グリセリン溶液の流動模様

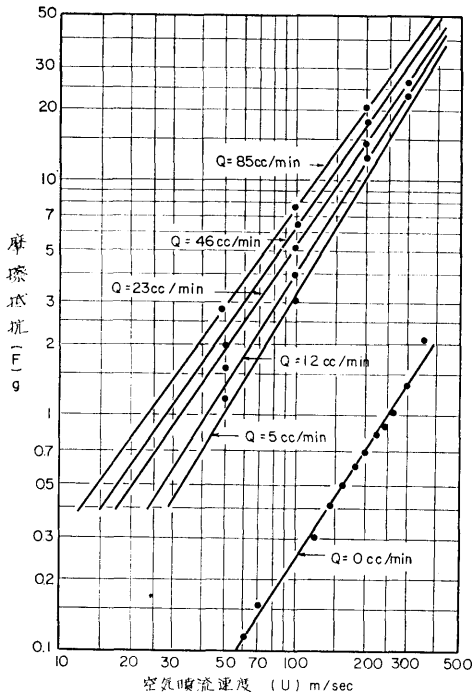


図18 空気噴流速度 (U) およびグリセリン溶液流量 (Q) と摩擦抵抗 (F)

は切溝の側壁およびプラスチックの底は切溝の前端に相当する。したがって本装置は垂直の鋼板を上から切断する場合と同様の姿勢である。装置の底には幅 1 mm のスリットがあり、グリセリン溶液は流量調節弁を介してここから流出する。図の右方のノズルはガラスに極めて近くおき、ここから空気噴流が底に平行に吹出してグリセリン溶液を左方に吹き送る。溶液の移動の様子は側面から観察し、撮影することもできる。

空気噴流の流速は図中に示す通り、ピトー管とゲッチェンゲンマンノメータで測り、グリセリン溶液の粘性は溶解比および温度により任意に定める。

なおガラスとプラスチックの部分は長さ 1 m の垂直の腕材の下端に固定し、腕材の上端は電気歪ゲージを貼ったリボン状の薄い燐青銅板を介して固定され、全体は振り状である。空気噴流のために模型が押されて燐青銅板がわずかに曲がると歪ゲージと歪応力計によって全抵抗力を感度 0.005 g で測定することができる。

(2) グリセリン溶液の流動

写真 7 は流動の状態を約 1/3,000 sec で撮影したも

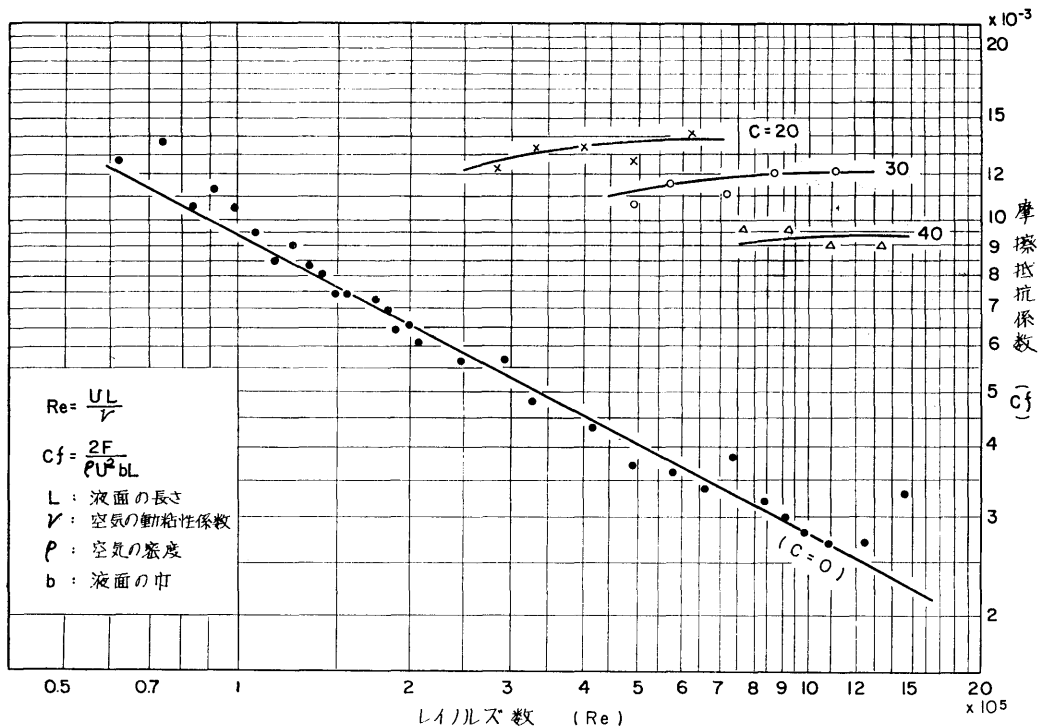


図19 しわ数 (C) およびレイノルズ数 (Re) と摩擦抵抗係数 (Cf)

のである。空気噴流速度 ( $U$ ) を 15 m/sec より 350 m/sec まで連続的に変化せしめたが、溶液の表面には最初から波状のしわができ、そのまま右から左へ動いて行く。 $U$  が大きくなるにしたがい、しわの間隔は順次小さくなることは写真で明らかである。写真では  $U=100\sim 200$  m/sec 以上になると、しわは数えられないが、なお溶液は波状であると考えられる。

2) 液面上を吹く気流によって生じるドラッグフォース

前節で説明した応力計と歪ゲージを用いて模型に作用する全抵抗力 ( $F$ ) を測定し、グリセリン溶液の流量 ( $Q$ ) をパラメータとして整理した結果が図18である。

この結果から模型の液面の摩擦抵抗係数 ( $Cf$ ) を求める。

$$Cf = \frac{F}{b} \cdot \frac{2}{\rho U^2 L}$$

ここに  $b$ : 液面の幅 cm

$L$ : 液面の長さ cm

$\rho$ : 空気の密度  $g^*/cm^3$  ( $g^*$  は質量グラム)

$U$ : 空気の噴流速度 cm/sec  
各実験値を  $Cf$  とレイノルズ数 ( $Re$ ) によって示すと図19となる。

ただし

$$Re = \frac{UL}{\nu}$$

表 6 グリセリン溶液流量 ( $Q$ ) および空気噴流速度 ( $U$ ) としわ数 ( $C$ )

$C$  は溝の長さ 5cm の間に発生した数  
( ) は 1cm 当りの数

空気噴流速度 (U) m/sec	5	12	23	46	85
15	6.5 (1.3)	5 (1.0)	4 (0.8)	4 (0.8)	3 (0.6)
20	8 (1.6)	-	5.5 (1.1)	5.5 (1.1)	4 (0.8)
25	9 (1.8)	-	-	-	-
30	12 (2.4)	8 (1.6)	7.5 (1.5)	6.5 (1.3)	5 (1.0)
50	16 (3.2)	12 (2.4)	10.5 (2.1)	10.5 (2.1)	7 (1.4)
70	19 (3.8)	16	14 (2.8)	15 (3.0)	10 (2.0)
100	27 (5.4)	25 (5.0)	20 (4.0)	17 (3.4)	14 (2.8)
150	35 (7.0)	29 (5.8)	25 (5.0)	24 (4.8)	21 (4.2)

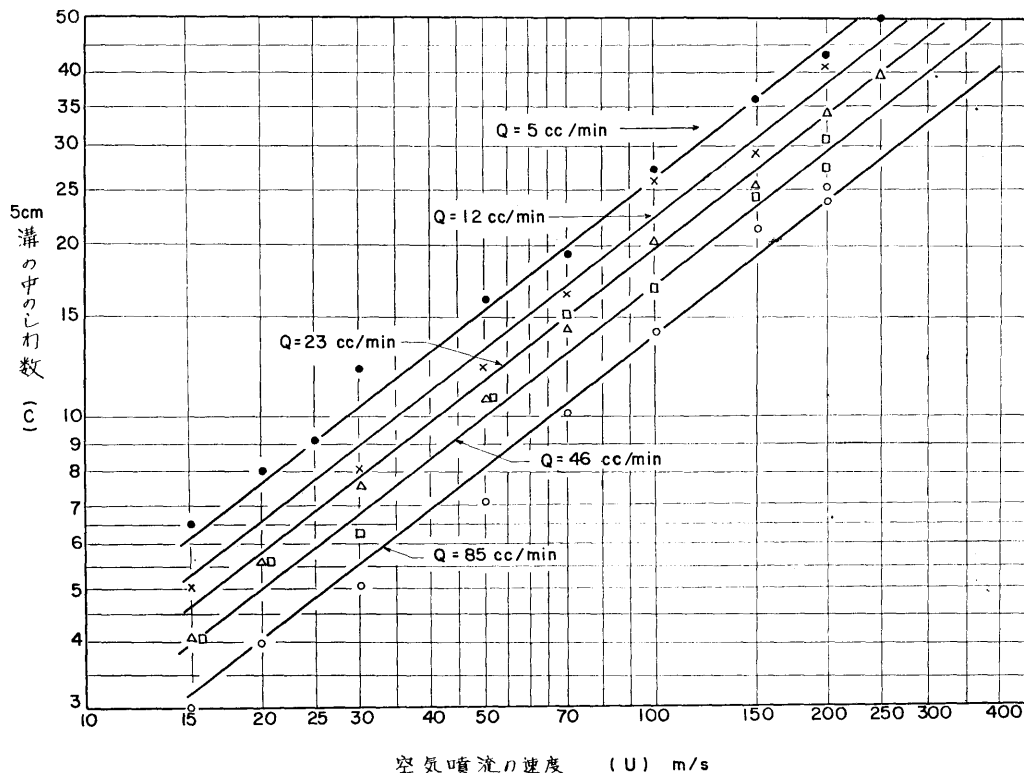


図20 グリセリン溶液流量 ( $Q$ ) および空気噴流速度 ( $U$ ) としわ数 ( $C$ )

ここに  $\nu$ : 空気の動粘性係数  $\text{cm}^2/\text{sec}$

図19は流体中の物体に作用する摩擦抵抗を表わすときと全く同じ方法によるものであって、従来の平板、翼および円管などの摩擦抵抗に関する多くの研究結果と類似の傾向を示している。本図の左上から右下に走る直線に属する実験値群は模型の溝にグリセリン溶液を流さず、空気のみを流した場合について  $Re$  と  $Cf$  との関係を示したものである。

つぎに右上の曲線に属する実験値群はグリセリン溶液をスリットから流出せしめ、これを空気噴流で強制的に流した場合のものである。各群を分けている  $C$  の値は写真7にみられる液面のしわ数（長さ 5 cm 間の波の数）である。 $C$  に関する測定値は表6および図20に示してある。曲線に属する実験値群を空気噴流のみの実験値群と対比してみると同じ  $Re$  について  $Cf$  が数倍になっていることがわかる。ここでは  $C$  が粗面すなわちアラサの程度を示すものとみなされる。

液体が壁面を濡し、かつ粘性を有するならば、摩擦抵抗はしわの密度と形状のみに関係し、液体の種類に無関係に本実験と同じ傾向の結果を示すものと考えられる。

### 3) 溶融スラグの流れの検討

前節の結果にもとずいて溶融スラグが切溝の中を流動している状態は波状であると考えられるが、これと全く反対に溶融スラグの表面が平滑であると仮定した場合、ガス切断がどんな状況になるかを検討してみよう。

溶融スラグの表面が平滑であるとすれば垂直な切溝では自重と平滑な溶融面に作用する切断酸素噴流のドラッグフォースによって溶融スラグが流下する。この場合の溶融スラグの流速は壁面では0であって、壁面からの距離に比例して増加する（図21）。

図21の紙面に垂直方向に単位厚さの溶融スラグ流を考え、まずこの溶融スラグ流が自重のみで流下している場合の切溝下端における流量  $q_1$  を求める。

壁面 ( $x=0$ ) から任意の距離  $x$  における溶融スラグの流速を  $v$ 、溶融スラグの粘性係数（ポアズ）を  $\eta$  とすれば、 $x$  における粘性抵抗  $\gamma$  は

$$\gamma = \eta \frac{dv}{dx} \quad \dots\dots(4)$$

$x$  における溶融スラグは層間の剪断抵抗によって支えられているから、その剪断応力  $f$  は溶融スラグの比重を  $w$  とすると

$$f = w(x_0 - x) \quad \dots\dots(5)$$

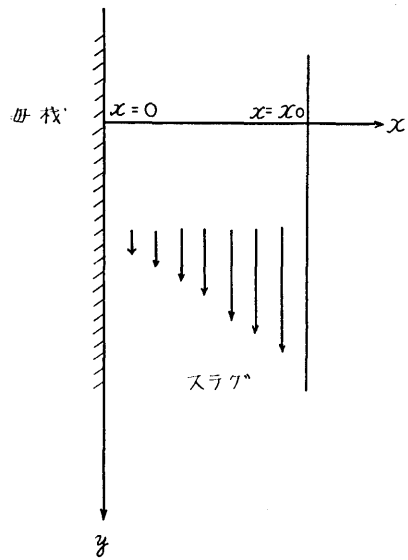


図21 溶融スラグの流れ

定常状態では  $\gamma = f$  と考えられるので式(4)と式(5)から

$$v = \frac{w}{\eta} \left( x_0 - \frac{1}{2} x \right) x$$

したがって溶融スラグ流の横断面を通過する溶融スラグ流量  $q_1$  は、

$$q_1 = \int_0^{x_0} v dx = \frac{1}{3} \frac{w}{\eta} x_0^3 \quad \dots\dots(6)$$

つぎに切断酸素噴流のドラッグフォースのみが作用するものとすれば、溶融スラグの層間の剪断応力  $f$  はドラッグフォースに等しいので次の式で与えられる。

$$f = Cf \frac{1}{2} \rho U^2 \quad \dots\dots(7)$$

式(4)において  $\gamma = f$  とおくと

$$v = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot Cf \rho U^2 x$$

溶融スラグ流の横断面を通過する溶融スラグ流量  $q_2$  は

$$q_2 = \int_0^{x_0} v dx = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot Cf \rho U^2 x_0^2 \quad \dots\dots(8)$$

切断中の溶融スラグを光高温計によって測定すると  $1,620^\circ\text{C}$  であり、この温度において、 $w=6.0 \text{ g/cm}^3$  および  $\eta=0.14 \text{ g/cm}\cdot\text{sec}$  である。また火口から噴出されている切断酸素の温度は  $20^\circ\text{C}$  であるが、切断中は予熱焰および溶融スラグで加熱され、相当高温にな

るものと考えられるが、実測することが困難である。したがって酸素温度は 20°C と熔融スラグ温度と等しい 1,620°C の両者をとって計算することにする。

切断中の酸素の質量密度は

$$\rho_{(20)} = 136 \times 10^{-8} \text{g} \cdot \text{sec}^2 / \text{cm}^4 \text{ (切断酸素 20°C の場合)}$$

$$\rho_{(1620)} = 21 \times 10^{-8} \text{g} \cdot \text{sec}^2 / \text{cm}^4 \text{ (切断酸素 1,620°C の場合)}$$

以下記号の右下の括弧内の数字は切断中の酸素温度を示す。

次にストレート形火口を用いた場合、切断酸素の噴出速度は音速であるので、 $U_{(20)} = 3.3 \times 10^4 \text{cm/sec}$  および  $U_{(1620)} = 8.0 \times 10^4 \text{cm/sec}$  である。

以上の条件で切断板厚 20 mm の鋼板を例にとって計算してみる。

切溝の長さ  $L$  は切断板厚に等しいから、 $L = 2.0 \text{cm}$ 、これに対するレイノルズ数  $Re_{(20)} = 4.4 \times 10^5$  および  $Re_{(1620)} = 4.8 \times 10^4$  となる。摩擦抵抗係数は切溝と同形の模型実験における図19に示す直線から求めると、 $Cf_{(20)} = 0.0045$  および  $Cf_{(1620)} = 0.013$  が得られる。これらの数値を式(6)および式(8)に代入すると

$$q_1 = 14.3 x_0^3 \quad \dots\dots(9)$$

$$\left. \begin{aligned} q_{2(20)} &= 1.04 x_0^2 \\ q_{2(1620)} &= 31.2 x_0^2 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots(10)$$

となる。

板厚 20 mm の鋼板の切溝の幅は約 0.2 cm である。この切溝の前端は切断酸素噴流の形と同じく半円筒状であり、熔融スラグはその壁面を濡らして流下するにたがって急速に厚さを増して切溝を塞ぐものと仮定する。そのときの  $x_0$  の値は切溝の先端半径 (切溝の幅の  $1/2$  に等しい) の約  $1/2$  であって約 0.05 cm となる。故に  $x_0 = 0.05 \text{cm}$ 、これを式(9)および式(10)に代入すると、 $q_1 = 0.0018 \text{cm}^3/\text{sec}$ 、 $q_{2(20)} = 0.0026 \text{cm}^3/\text{sec}$  および  $q_{2(1620)} = 0.078 \text{cm}^3/\text{sec}$  である。

排出される熔融スラグの量は一定切断幅において、

$$V_1 t = q_1 \quad \dots\dots(11)$$

$$V_2 t = q_2 \quad \dots\dots(12)$$

ここに  $V_1$  は熔融スラグの自然流下による切断速度であり、 $V_2$  は熔融スラグ面が平滑である場合、酸素噴流の摩擦による切断速度である。

式(11)および式(12)に  $q_1$ 、 $q_{2(20)}$  および  $q_{2(1620)}$  の値をそれぞれ代入して切断速度を求めると、 $V_1 = 0.018 \text{cm/sec} = 1.08 \text{mm/min}$ 、 $V_{2(20)} = 0.026 \text{cm/sec} = 1.50 \text{mm/min}$  および  $V_{2(1620)} = 0.78 \text{cm/sec} = 46.80 \text{mm/min}$  である。

(230)

実際の切断速度は自然流下によるものと噴流の摩擦によるものと和であるから、 $V = V_1 + V_2$ 、よって  $V_{(20)} = 1.08 + 1.50 = 2.58 \text{mm/min}$  および  $V_{(1620)} = 1.08 + 46.80 = 47.88 \text{mm/min}$  となる。

以上は熔融スラグ面が平滑面であると仮定した結果であって、切断酸素が 1,620°C に加熱された場でも  $V$  は僅かに 48 mm/min であり、これは実用切断速度が 300~600mm/min であることに比較して著しく遅い。したがって熔融スラグ面はグリセリン溶液による模型実験結果と同様、粗面 (波状面) と考えるのが妥当である。

#### 4) ドラグライン密度の変化

切断中に火口の位置から切溝の前端を観察すると、切溝の前端上縁から一定周期でドラグラインのオオトツが発生していることがわかる。また模型実験でわかった通り、グリセリン溶液はしわのある流れとなって溝の中を移動している。この両者の対照により溶液スラグが平滑な流れではなく、何等かの周期的変動をもつ流れであって、その変動が母材に燃焼反応の強弱を与える結果、ドラグラインができるとの推論に達した。

図20においてグリセリン溶液流量  $Q$  が増すにしたがってしわ数が少なくなると同様に、切断速度が増すにしたがって熔融スラグの流量が多くなり、しわ数に対応する熔融スラグの変動数 ( $Z$ ) も少なくなる。したがった切断面に残されるドラグラインの数の分布 ( $Z/V$ ) は切断速度が増してもそれ程小さくはならない。 $V$  と  $n$  との関係はこの結果と一致する。

#### 4-2. 彎曲発生について

切溝を流下する熔融スラグは下縁に近くなるほど流量が増加する。したがって切溝の幅が一定ならば、ある点で熔融スラグは切溝を塞いでしまう。切溝が塞がれた場合には切断酸素噴流はこれに妨げられるので、流路を曲げられて側壁を侵食する。この切断酸素噴流の乱れた痕が彎曲であると考えられる。

切溝を塞いだ熔融スラグに衝突した切断酸素噴流の1部または大部分は熔融スラグを突き破って進み、さらに熔融スラグが切溝を塞ぐまで切溝の下方に進む。このようにして彎曲が2段あるいは3段にできるものと考えられる。

熔融スラグの流量が切断速度に比例するとすれば、切溝を塞ぐ位置も切断速度に反比例して上縁に近づくはずであり、式(3)によって表わされる実験結果と一致する。

なお溶融スラッグの流下速度が大きい場合には切溝を塞ぐ位置は当然上縁から遠ざかる。ダイバージェント形火口による切断面がストレート形火口によるものより彎曲の少ないのは切断酸素噴流の速度が大であって溶融スラッグに対するドラッグフォースが大きく、したがって溶融スラッグの流速も大きいためと考えられる。

#### 4-3. アラサについて

実験結果では切断速度の増加にしたがってアラサが大きくなっている。ドラッグライン密度が小さくなる場合、すなわちドラッグラインの間隔が広い程オオトツが深くなることを示している。

板厚 20 mm の場合、ダイバージェント形火口による切断面はストレート形火口のものよりわずかながらオオトツが大きい(図 16)、これは切断酸素噴流のドラッグフォースが大きいため、溶融スラッグの厚さの変動が大きいことによると考えられる。

切断板厚が大きい場合にはドラッグフォースの大きいダイバージェント形火口による切断面は板厚の下方までアラサが増大しないことは、切溝の深さが大きいためある程度ドラッグフォースが制御されて薄板におけるストレート形火口のそれに近くなるためと考えられる。したがって板厚の大きな鋼板の切断にダイバージェント形火口を用いると有利である(図15)。

なお機械的振動は極めて大きなアラサ増大の原因となる。

## 結 論

本研究の結果を要約すると次の通りである。

(1) ドラッグラインの密度( $n$ )は切断板厚、予熱ガス流量、予熱ガスの種類、切断酸素流量、切断酸素圧力、切断酸素流速、火口の距離および後熱焰に関係なく、火口の傾斜角度および切断速度( $V$ )にのみ関係し、次の式によって表わされる。

$$n = n_0 (V \cos \theta \times 10^{-2})^m$$

ここに  $m = -0.35$

$$n_0 = 24 (V \leq 400 \text{ mm/min})$$

$$n_0 = 47 \text{ または } 70 (V \geq 400 \text{ mm/min})$$

(2) 切断面の上縁から彎曲点までの距離( $h$ )と切断速度( $V$ )との間には次の関係がある。

$$h = h_0 (V \times 10^{-2})^{-1.0}$$

ここに  $h_0$  は切断因子の値によって定まる定数である。

(3) 切断面のアラサ( $R$ )は切断速度が大きくなるにしたがって大きくなる。しかし外部からの影響を除けば  $R$  の値は  $50 \mu$  を超えることはない。

(4) ダイバージェント形火口はストレート形火口に較べて切断面に彎曲ができ難く、また切断板厚が増してもアラサ( $R$ )はあまり増大しない。ただし切断板厚 20 mm 程度以下ではストレート形火口に比し、わずかながら  $R$  が大きい。

(5) ドラッグラインの成因はスラッグの流れが周期的に変動するため燃焼反応もこれに応じて周期的に変化した結果である。

溶融スラッグの流れが周期的に変動することは、グリセリン溶液を用いた模型実験などによって推定し得た。

(6) 彎曲の成因も溶融スラッグの流れと切断酸素噴流の乱れによるものである。

## 付 記

ドラッグライン密度とアラサの間には反比例的な関係があるものと考えていた。しかるに本研究の結果、全般的にはこの考え方とほぼ一致したが、切断速度 400 mm/min において相反する傾向を示した。この異なった傾向については今後機会を得てさらに追究をおこないたい考えである。

## 参 考 文 献

- \* 市川慎平, 竹花范平, 植松義量, 小林捷雄, ダイバージェント形ガス切断火口の製作に関する研究, 船研報告, 第1巻, 第3, 4号.

(原稿受付 40.8.24)