

冷間鋸断機における鋸断特性

Sawing Properties of Cold Saw

戸 田 進*
Susumu Toda

広 田 才治郎*
Saijirō Hirota

大 森 敏 愛*
Toshichika Ōmori

木 村 智 明**
Tomoaki Kimura

榎 重 夫**
Shigeo Enoki

要 旨

従来、形鋼圧延設備においては圧延された製品を熱間にて鋸断(きょだん)する方法が一般に採用されている。しかし冷却能率、矯正(きょうせい)作業能率、矯正精度の点から長尺冷却、長尺矯正が望ましく、それに伴って矯正後の冷間材を鋸断する高性能の冷間鋸断機の出現が各方面より望まれていた。

本文では鋼材を冷間で鋸断する場合の基礎的な問題、すなわち冷間鋸断機における鋸断動力の計算方法、鋸断抵抗および鋸断面の状態につき測定した結果について述べる。

1. 緒 言

冷間で鋼材を鋸断する方法は以前から実用化されているが^{(1)~(3)}、山形、みぞ形、H形鋼などの近代的な形鋼製造設備に組み込まれ、実用化されている例は少ない。日立製作所が昭和46年11月にトピー工業株式会社に納入した形鋼設備では、圧延後長尺のまま冷却および矯正を行ない、最終段階で冷間鋸断機による定尺鋸断を行なう方法をとった。冷間鋸断機では鋸断動力の計算方法、鋸刃(のこば)の寿命あるいは鋸断面のかえりやばりの発生などの諸問題があるが、上記設備の冷間鋸断機では、これらの諸問題を解決し、現在順調に稼働中である。図1は本鋸断機による鋸断状態を示している。

冷間鋸断機は一般に、高速回転する鋸刃と鋸断材料間に発生する摩擦熱により鋸断部を高温に保ち、一方、鋸刃を高圧ジェット水流により冷却しながら鋸断を行なうものである。このため冷間鋸断時鋸刃に発生する鋸断抵抗は、通常のバイトで切削する場合の切削理論をそのまま適用して求めることはできない。すなわち鋼材を鋸断する鋸刃の周速が120 m/s前後であり、バイトで切削する場合と比較して速度が大きく、またバイトなどの切削理論ではすくい角が切削抵抗に大きく関係するが、冷間鋸断機では歯形形状が、摩耗により刻々変化するからである。冷間鋸断機では鋼材と高速で回転する鋸刃間に生ずる摩擦熱が鋸断抵抗に大きな影響を及ぼしているため、この点について考慮せねばならない。上記のような鋸断原理から考えると鋸断抵抗に影響を及ぼす因子としては、鋸刃の歯形形状、鋼材の材料特性、鋸刃の剛性、鋸刃の摩耗度、鋸断速度および鋸刃の冷却など各種の項目があげられるが、これらの関係について具体的に報告されている例は見あたらない。

本文では冷間鋸断機における鋸断抵抗値の取り扱い方、鋸断動力の計算方法および鋸断抵抗値を測定した結果について、また同時に行なったかえり発生量についての実験結果について、一応の成果を得たので報告するものである。

2. 鋸断抵抗および鋸断動力の計算方法

2.1 鋸断抵抗値

冷間鋸断機の鋸断抵抗値には前述したように、各種の因子が考えられる。しかも実際の作業では、鋸刃に切られた歯形が、相当摩耗するまで使用されるのが普通である。

このような点から、鋸断抵抗値としては各種の因子を包含した総合抵抗値を採用するのが有利である。この場合、総合抵抗値とし

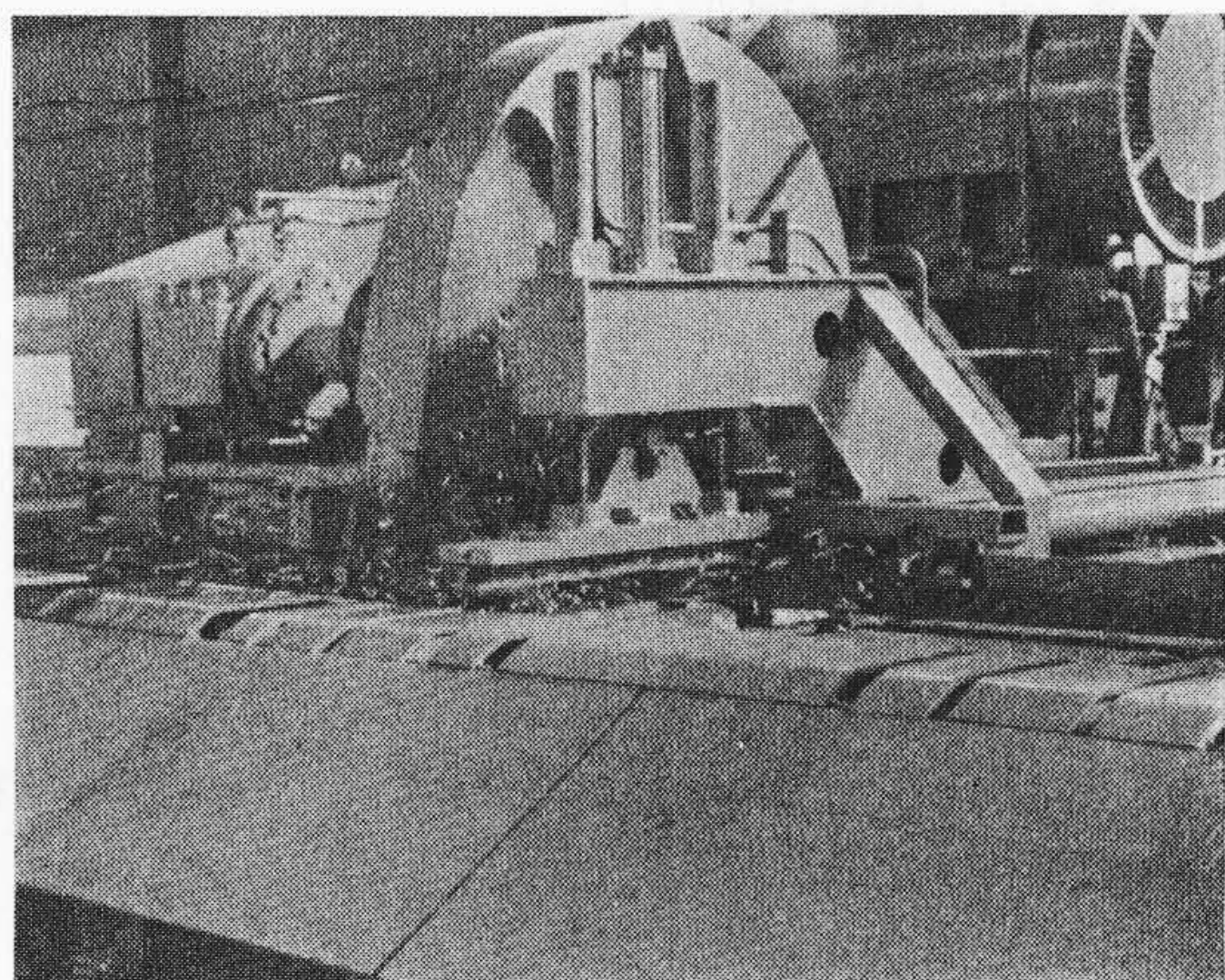


図1 冷間鋸断機による鋸断状況

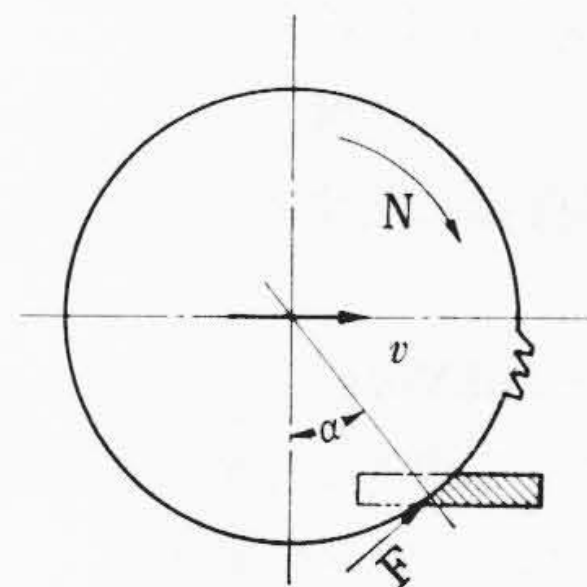


図2 鋸刃に加わる鋸断力

ては歯形がどうであれ、材料を鋸断している鋸刃の接線方向について、1枚の歯面に単位面積あたり加わる力を考えればよい。この総合抵抗値を各因子について測定しておけば、鋸断動力などの計算は以下に述べるように簡単に行なうことができる。

総合鋸断抵抗値 τ を用いる場合、図2の鋸刃に加わる全鋸断接線力 F は、

B : 鋸刃の厚み

N : 鋸刃の回転数

Z : 鋸刃の歯数

v : 鋸刃の送り速度

l : 鋸刃の鋼材に接触している長さ

p : 鋸刃のピッチ

とすれば、単位時間あたり鋸刃1枚につき鋸断する長さ f は、

$$f = v \sin \alpha / N \cdot Z \dots\dots\dots (1)$$

で表わされるので、

$$F = \tau B f l / p \dots\dots\dots (2)$$

となる。

* トピー工業株式会社豊橋製造所

** 日立製作所日立工場

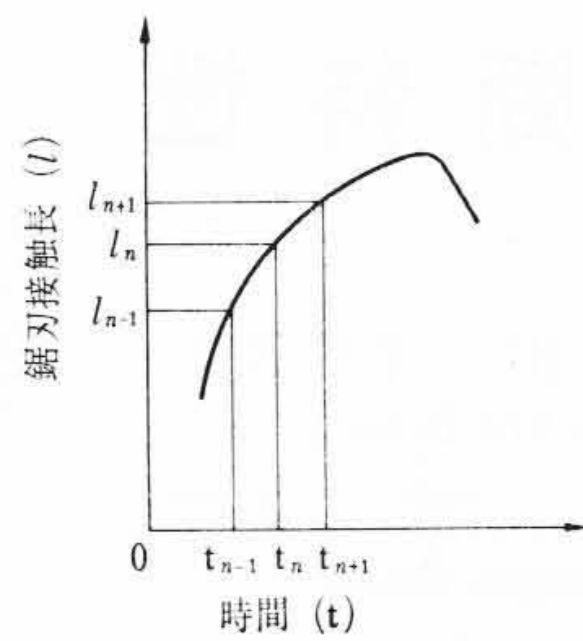


図3 鋸断時間と鋸刃接触長さの関係

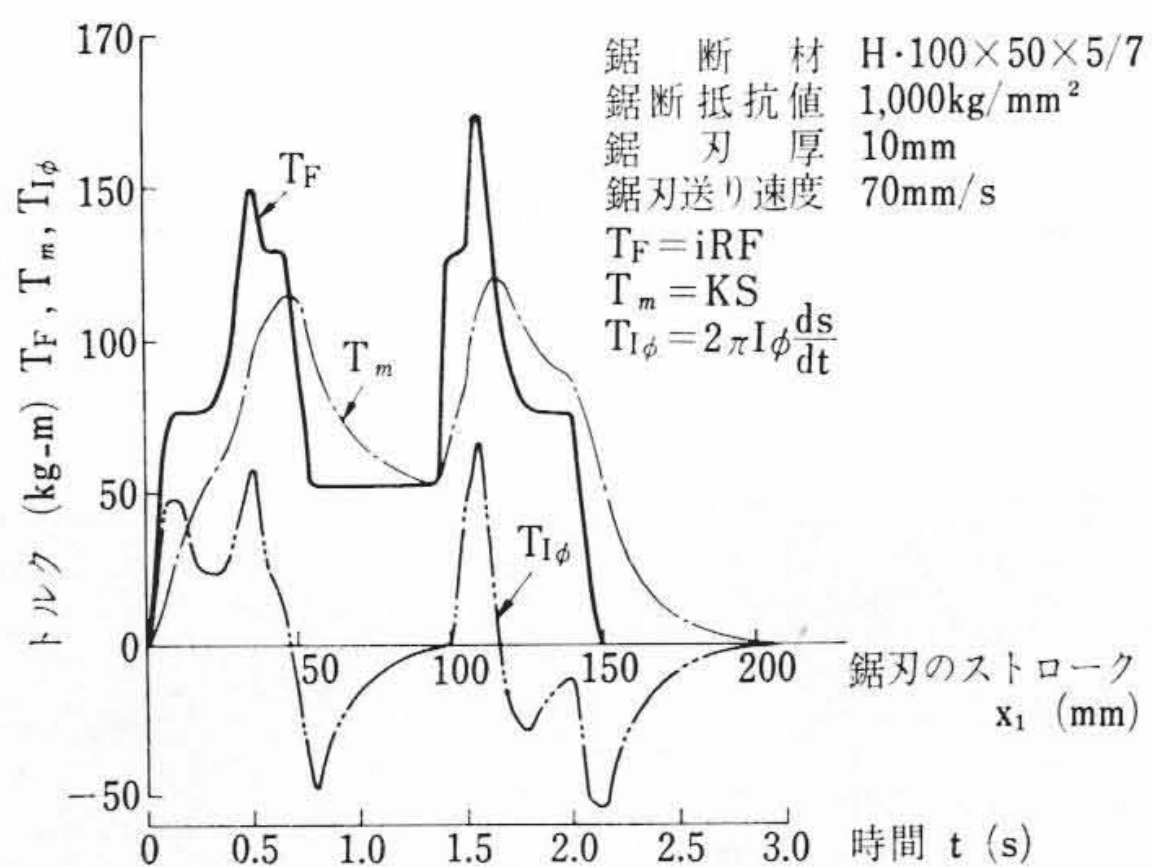


図4 鋸断トルクの計算の一例

2.2 鋸断動力の計算方法

鋸断機の鋸刃径は一般に1,300~1,600 mm ϕ と大きいので、鋸断機の電動機容量を決定する際には、鋸断中における駆動系の慣性力による影響を考慮しなければならない。

I_ϕ : 鋸刃駆動系の慣性モーメント

T_m : 電動機の発生する出力トルク

i : 鋸刃の電動機軸に対する増減速比

R : 鋸刃の半径

t : 時間

のように表わすと電動機軸に関するトルクのつり合いは、(3)式となる。

$$iFR = T_m - 2\pi I_\phi \frac{dN}{dt} \quad (3)$$

電動機としては一般に三相誘動電動機が使用されるが、これの同期回転数を N_0 とすれば、スリップ率 S は、

$$(N_0 - N)/N_0 = S \quad (4)$$

となる。電動機に発生するトルク T_m は一般にスリップ率 S に関するので(3)式は次式となる。

$$iFR = T_m(S) + 2\pi I_\phi \frac{dS}{dt} \quad (5)$$

また、スリップ率が小さい場合、スリップ率と出力トルクは近似的に比例するので、この場合(5)式は、

$$iFR = KS + 2\pi I_\phi \frac{dS}{dt} \quad (6)$$

となる。なお(6)式中 K は比例定数である。

実際に(6)式を計算する場合、鋸刃に加わる鋸断力の取り扱いが問題となる。すなわち山形、みぞ形鋼などを鋸断する場合、(2)式中の l が複雑な変化をとるからである。しかし l の変化を適切な関数に置き換えることは可能である。図3に示すように微小時間について l の変化を表わしておけば、鋸刃の移動する時間と l の関係は、

$$l_n = \sum_{m=0}^n a_m t_n^m \quad (7)$$

の関数形で近似することができる。(7)式中 a_m は定数。

(7)式において $m=2$ とおけば、任意の l_n と t_n の関数形は、 t_{n-1} , t_n , t_{n+1} と l_{n-1} , l_n , l_{n+1} の関係より、

$$l_n(t_n) = a_2 t_n^2 + a_1 t_n + a_0 \quad (8)$$

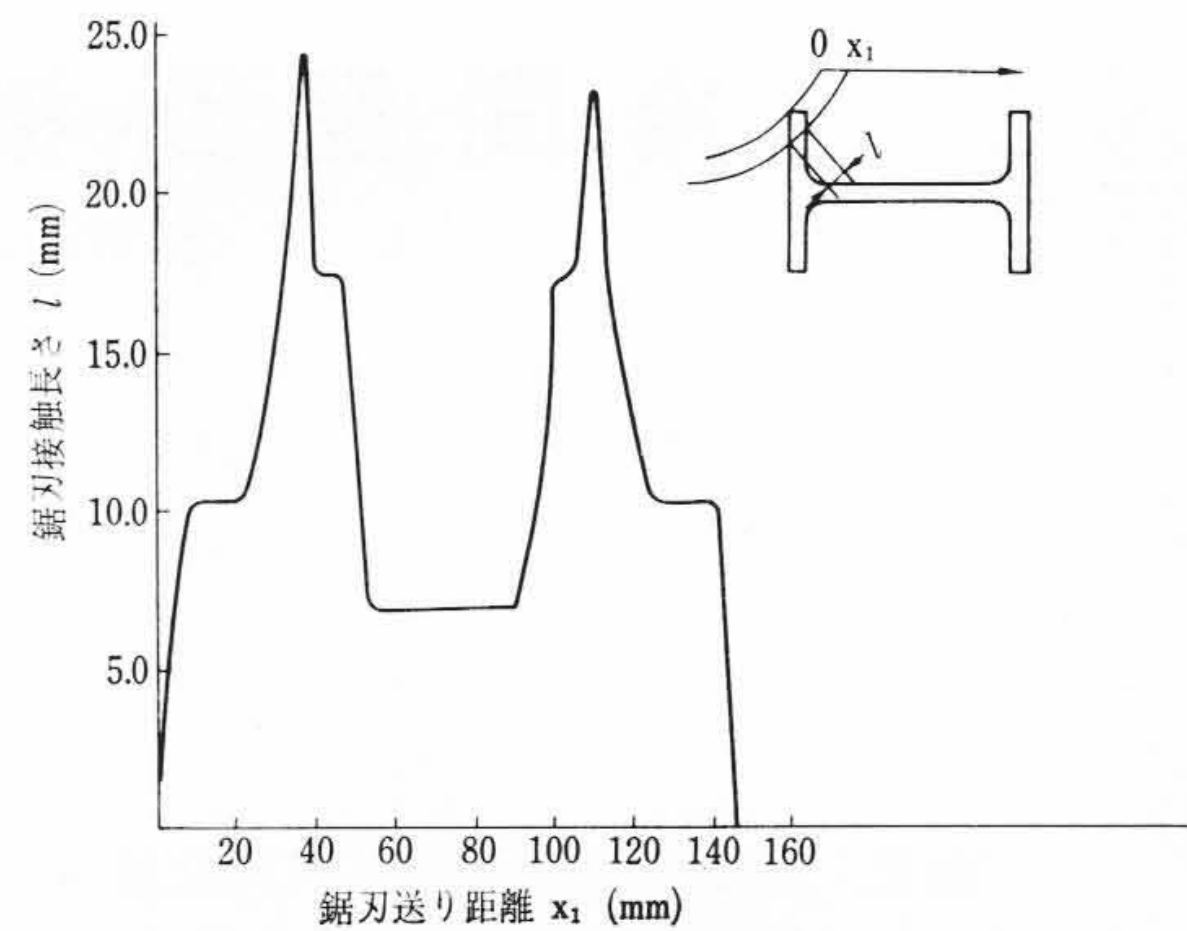


図5 鋸刃送りと鋸刃接触長さ

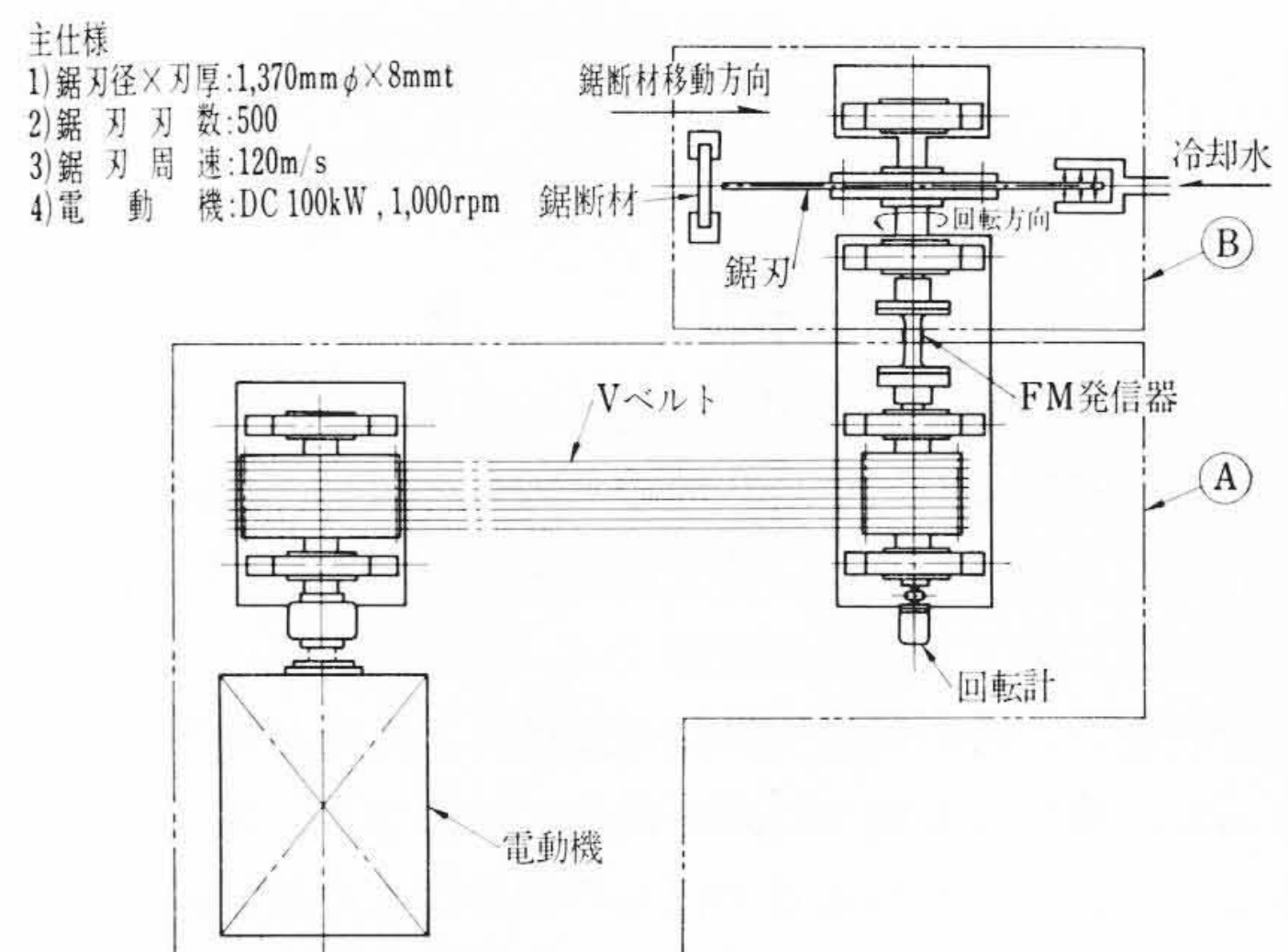


図6 実験の概要

表1 材料の機械的性質

鋸断材	抗張力 (kg/mm ²)	降伏点 (kg/mm ²)	伸び (%)	鋸断材厚 (mm)
①	50.6	31.3	35.8	14
②	74.3	47.4	26.0	14.3
③	111.3	*84.7	8.2	25
④	43.3	32.9	41.2	12

* 印: 0.2% 耐力

のように求めることができる。

図4は $H100 \times 50 \times 5/7$ について(2), (6)および(8)式により(電算機を用いて)計算した一例を、図5は鋸断材の鋸断方向および鋸刃ストローク x_1 に対する鋸刃接触長さ l の関係を示したものである。

3. 総合鋸断抵抗値の測定

3.1 実験機による鋸断抵抗値の測定

鋸断抵抗値は(3)式を逆算する方法によって求めた。実験機の配置は図6に示すとおりである。駆動系A部分で発生するトルク T_{FM} をFMテレメータにより測定した。また駆動系B部分の慣性力によるトルク T_{GD^2} は回転数 N を測定して $2\pi I_\phi \frac{dN}{dt}$ の関係より求めた。

結局(2)式を用いれば、鋸断抵抗値 P は次式により求められる。

$$P = x(T_{FM} + 2\pi I_\phi \frac{dN}{dt}) / BflRi \quad (9)$$

実験機では鋸断材の抗張力と鋸断抵抗値の関係を調べるため、各種の材料について測定を行なった。測定に使用した材料および材料の機械的性質は表1に示すとおりである。また使用した鋸刃の寸法

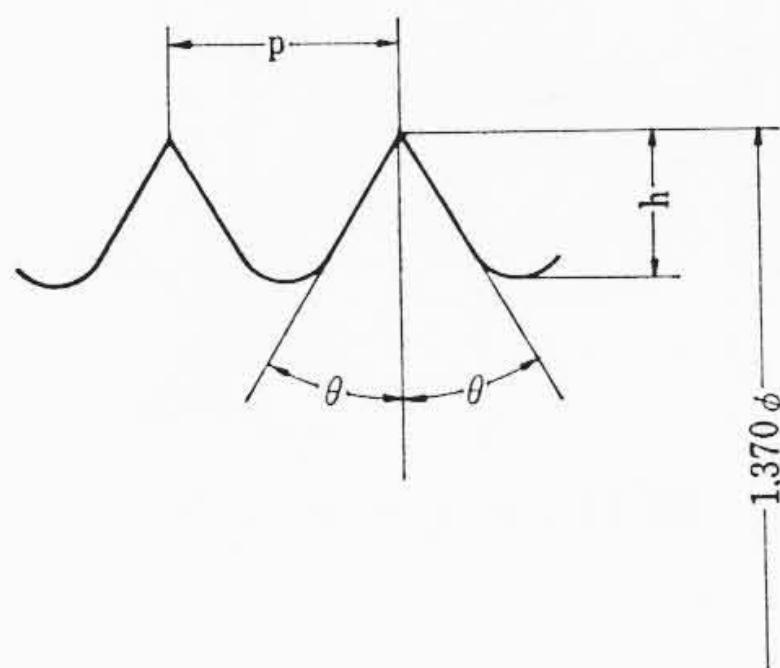


図7 鋸刃歯形の形状

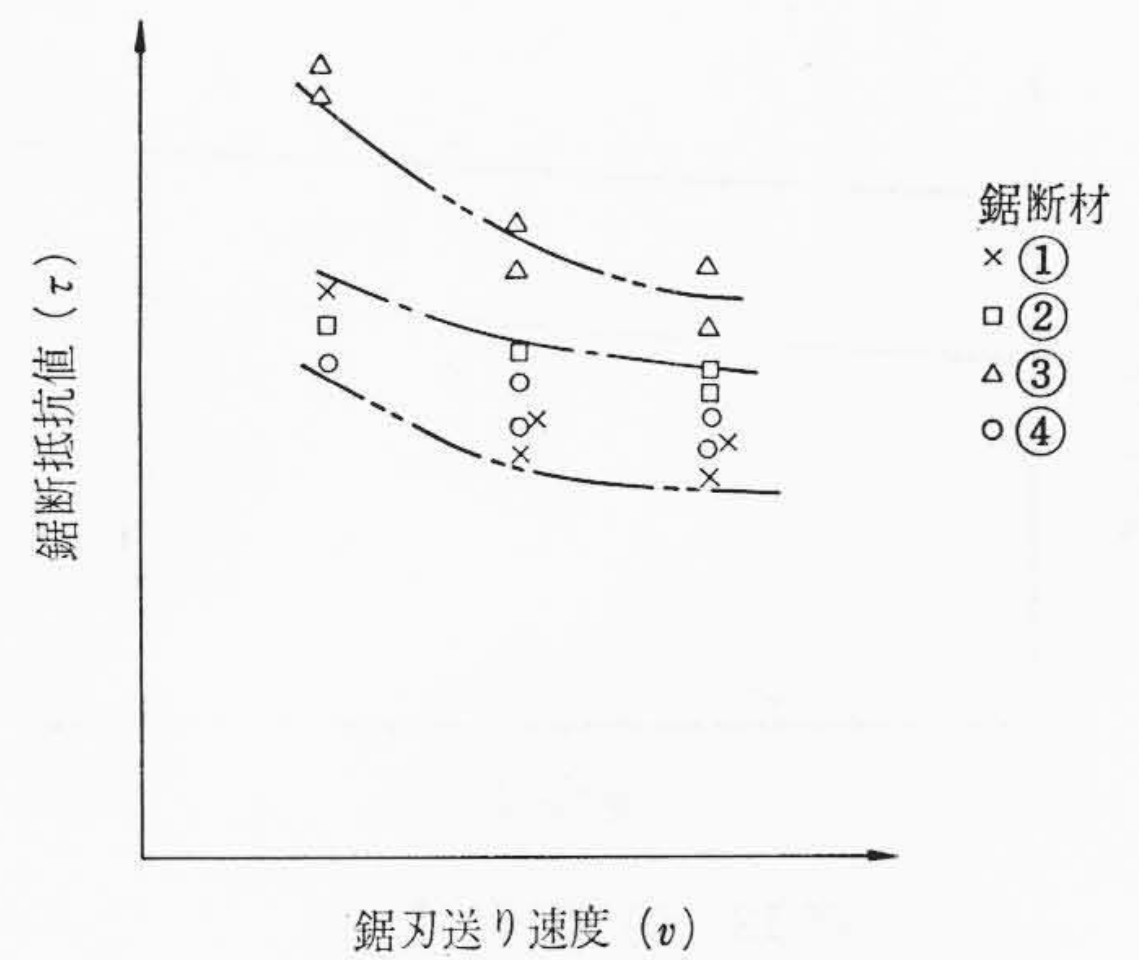


図8 鋸刃送り速度と鋸断抵抗値

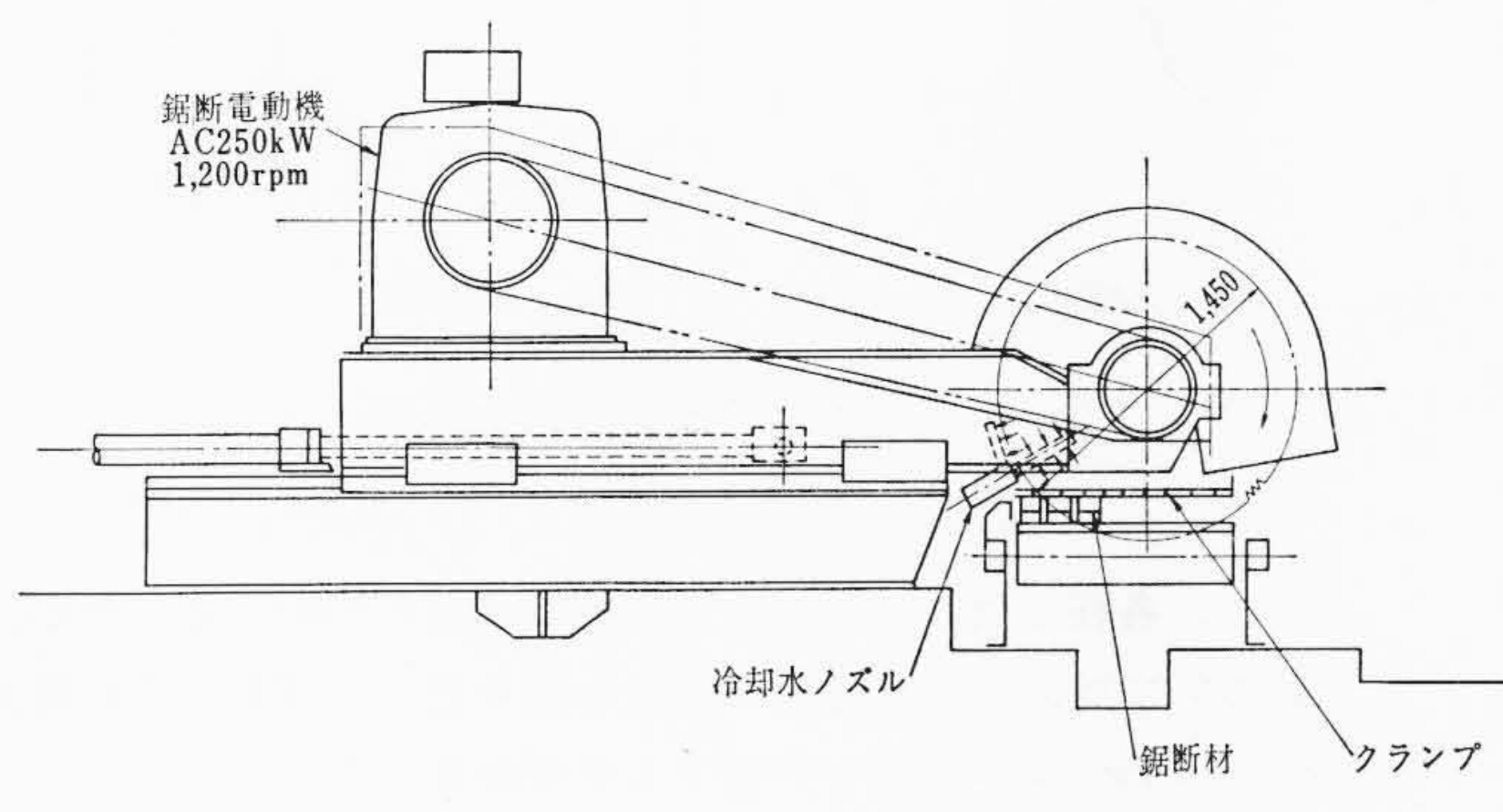


図9 実機鋸断機の配置図

は径 1,370 mmφ, 歯厚 8 mm, 材質は SKS-5 である。鋸刃の歯形形状は図 7 に示すとおりである。鋸刃の周速は 120 m/s である。

鋸刃の冷却には $20 \text{ kg/cm}^2 \times 60 \text{ l/min}$ のポンプを使用した。

図 8 は測定した鋸断抵抗値を各材料別に、速度の関係として表わしたものである。

3.2 実機による総合抵抗値の測定

3.1 の実験機による測定では電動機の容量の点から、鋸刃送り速度の速いものについては測定できなかったため、鋸刃の歯形形状、鋸刃の摩耗および鋸刃の厚さの影響による鋸断抵抗値の測定を含めて実機により行なった。

図 9 は測定を行なった実機鋸断機の配置図である。

鋸断抵抗値は、(5)式を逆算することによって求められた。ただし、スリップ率 S の測定は困難なので、 S の代わりに入力電流 I を測定し、電動機の特性能曲線を用いて、入力電流 I よりスリップ率 S を逆算して求めた。すなわち $S=S(I)$ と置くことができるので、(5)式は

$$iFR = T_m \{S(I)\} + 2\pi I_\phi dS(I)/dt \dots\dots\dots (10)$$

と表わされる。(10)式より入力電流 I のみを測定すれば、(2), (10)式より、鋸断抵抗値 τ は次式より求めることができる。

$$\tau = p [T_m \{S(I)\} + 2\pi I_\phi dS(I)/dt] / BflRi \dots\dots\dots (11)$$

実機鋸断機のおもな仕様は次のとおりである。

- 鋸 刃 径: 1,450 mmφ
- 鋸 刃 厚: 10 mm (実験時に各種の厚みを選定する)
- 鋸 刃 周 速: 120 m/s (鋸刃径 1,450 mmφ 時)
- 電 動 機: AC 250 kW × 1,200 rpm …… 1 台
- 冷 却 水: $15 \text{ kg/cm}^2 \times 100 \text{ l/min}$
- 鋸刃送り速度: 最大 135 mm/s,
戻り速度最大 200 mm/s

歯形記号	A-t ₁	B-t ₁	C-t ₁	D-t ₁	E-t ₁
歯 形					

図10 鋸刃歯形形状

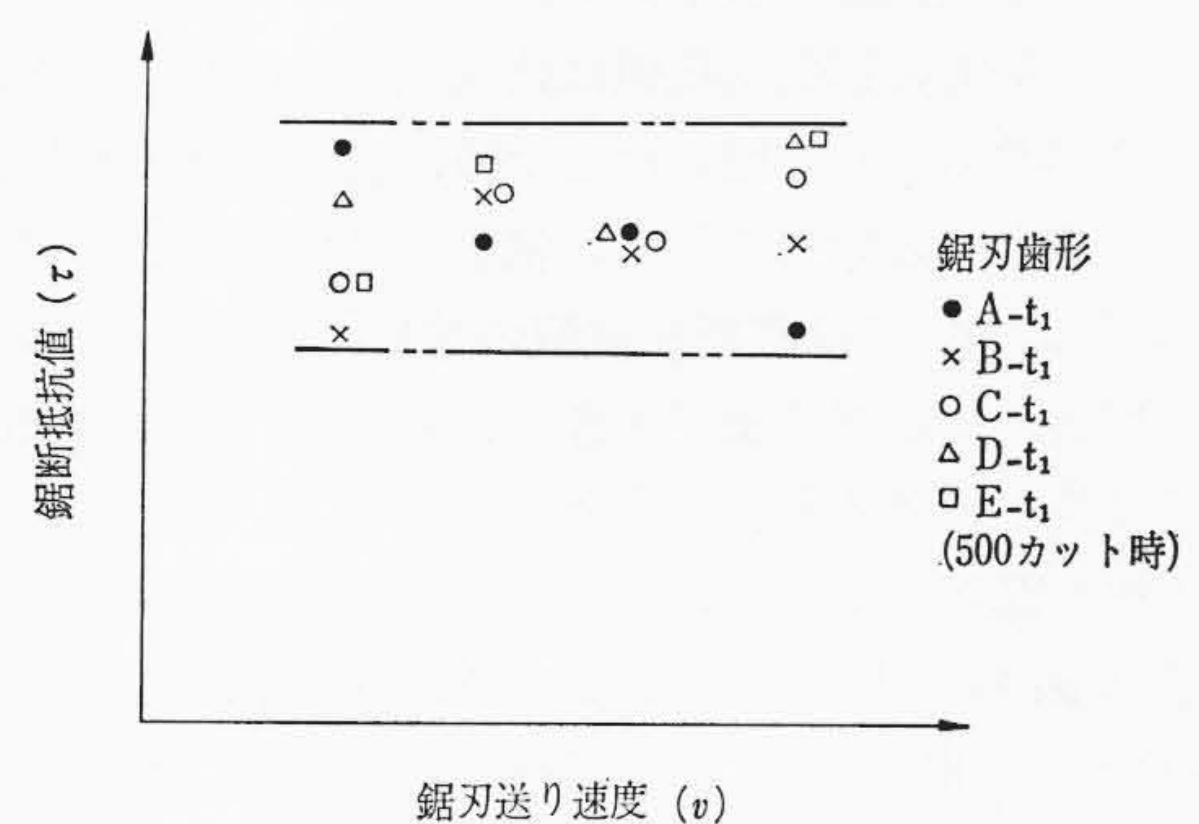


図11 鋸断抵抗値

鋸 刃 材 質: SKS-5

鋸断材としては $H 100 \times 50 \times 5/7$ を使用したが、これの機械的性質は抗張力 $51 \sim 55 \text{ kg/mm}^2$, 降伏点 $32 \sim 33 \text{ kg/mm}^2$, 伸び $21 \sim 23\%$, ショア硬度 $24 \sim 26$ である。 $H 100 \times 50 \times 5/7$ 材鋸断の鋸断方向および鋸刃ストロークと鋸刃の材料に接触する長さ l の関係は前述の図 5 と同一である。

測定に使用した鋸刃形状は図 10 に示すとおりである。

図 11 は各種鋸刃歯形についての鋸断抵抗値を、鋸刃送り速度の関係として表わしたものである。なお図 11 で測定した際の鋸刃の鋸断回数は 500 カット時のものである。

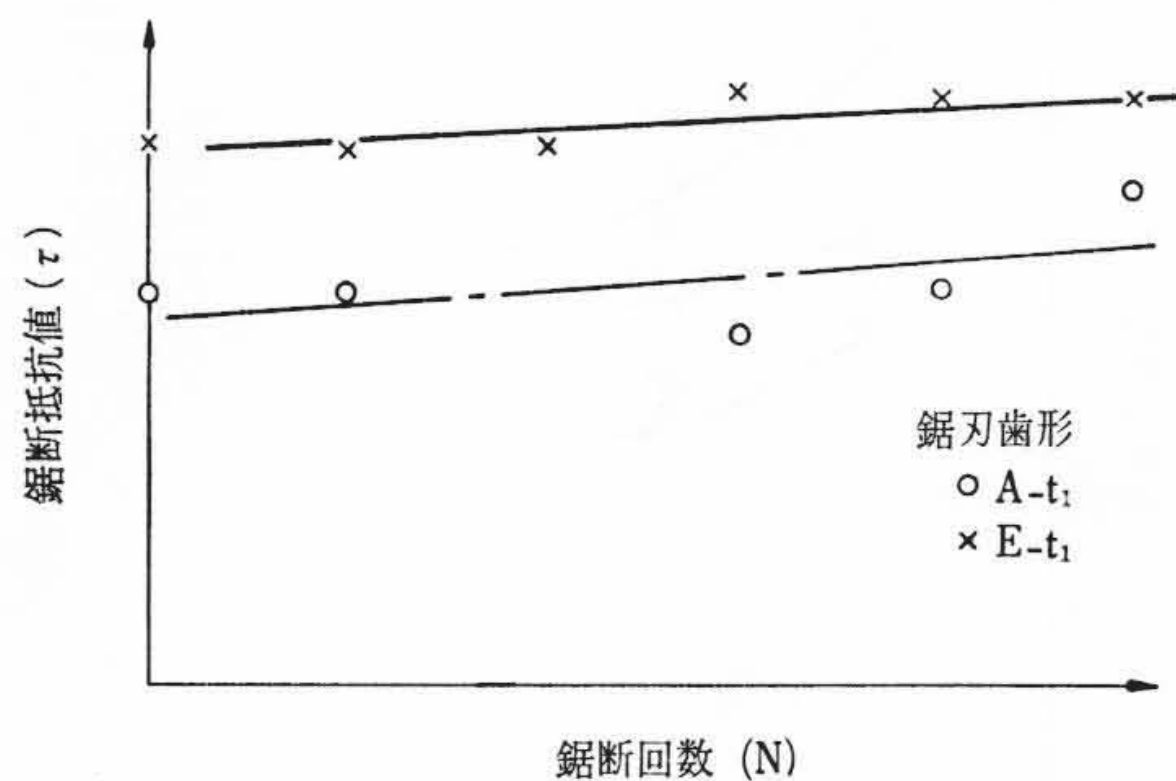


図12 鋸断抵抗値

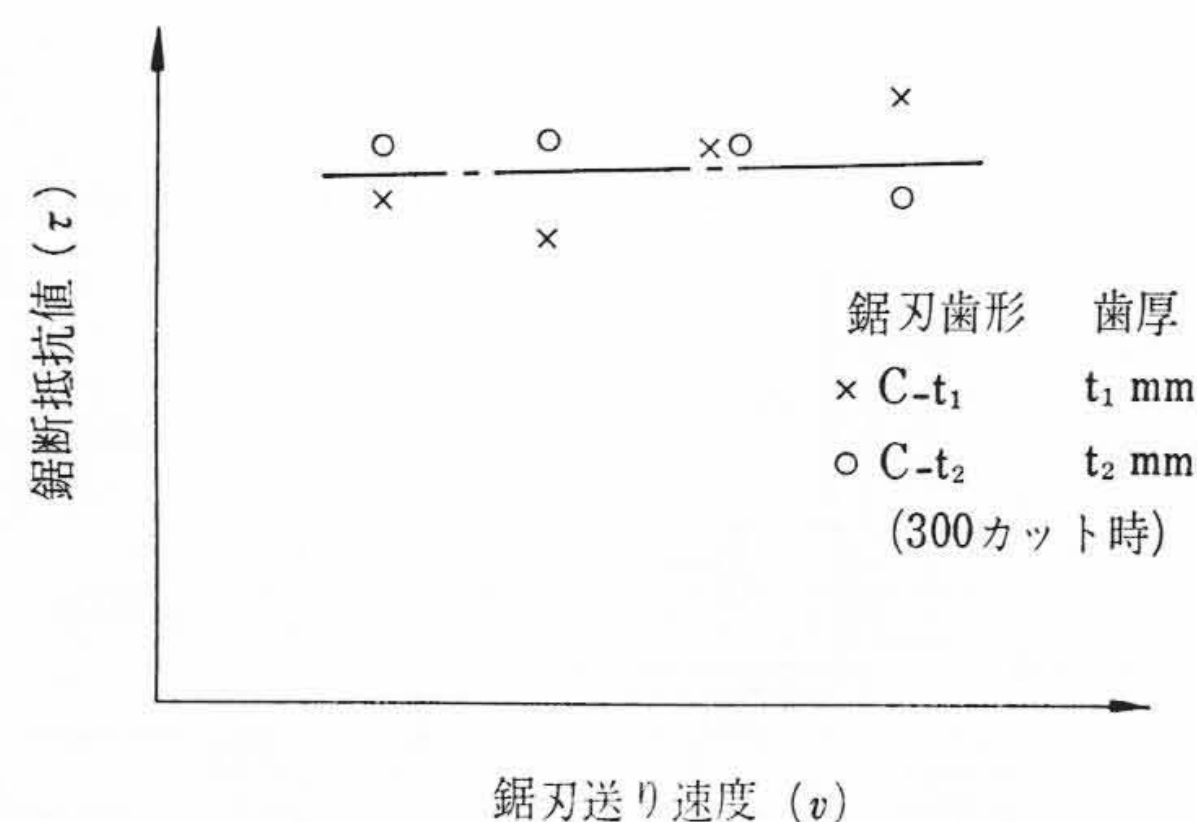


図13 鋸断抵抗値

図12は鋸断回数と鋸断抵抗値の関係を2種類の歯形について示したもので、この場合の鋸刃送り速度は70 mm/sである。

図13においては鋸刃の厚みによる鋸断抵抗値の影響を、鋸刃送り速度について表わしている。歯厚は t_1 mmと t_2 mmの2種類($t_1 > t_2$)である。この場合の鋸断回数は300カット時のものである。

4. 鋸断抵抗測定値に対する考察

図8は実験機により、抗張力と鋸断抵抗値との関係を測定したものであるが、鋸断抵抗値は抗張力に従って大きい値を取る傾向がある。しかし、抗張力と鋸断抵抗値は比例関係を有していない。これは鋸断部が摩擦熱により高温となるため、材料の機械的性質が変化することによるものと考えられる。抗張力のほとんど同様な鋸断材①、鋸断材④については鋸断抵抗値の差異はあまり認められない。速度が低い場合、鋸断抵抗値が大きくなるのは、鋸刃の側面振れなど、固有の抵抗が占める割合が大きくなるためであると考えられる。次に実機の測定結果について考察すれば鋸歯形状による鋸断抵抗値の影響は図11で見える限りあまり差異が見られない。ただし、図11は500カット時についてのものなので鋸刃歯形が摩耗し、 $A-t_1$ 、 $B-t_1$ 、 $C-t_1$ などの歯形の先端部分が $D-t_1$ 、 $E-t_1$ などの歯形と同様な形状、すなわち平らになり鋸断抵抗値もこれらと変わらなくなるものと考えられる。しかし、一般的には図12からもわかるように、 $A-t_1$ 、 $B-t_1$ 、 $C-t_1$ など切り粉の逃げ角が付いているほうが鋸断抵抗値は小さくなるようである。

鋸刃送り速度については図11、図13から考察するかぎり、鋸断抵抗値にあまり関係しないように考えられる。ただし、測定値にはばらつきがあり、明確に断言することはできない。

鋸断回数の鋸断抵抗値に及ぼす影響は図12からわかるように、カット回数が増すと、鋸刃の摩耗が生じ鋸断抵抗値もいくぶん増加する傾向にある。

鋸刃歯厚の鋸断抵抗値に対する影響は、図13から見るかぎり差異はあまり認められない。

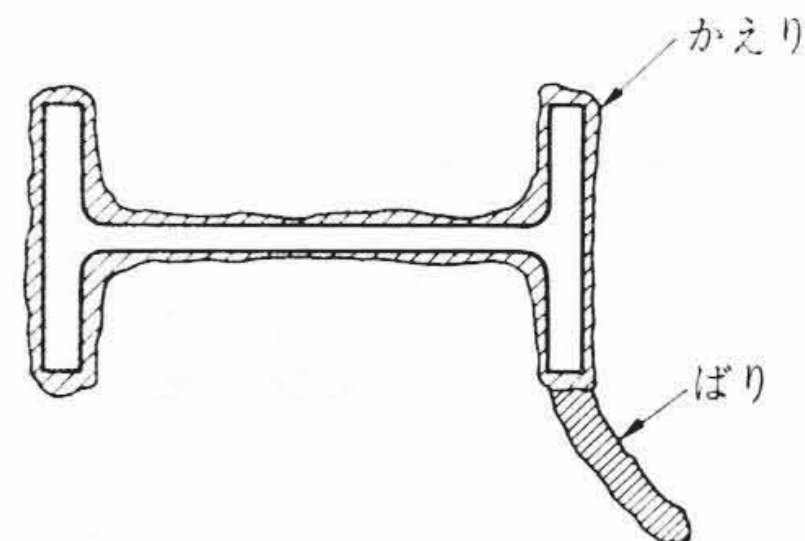


図14 かえりとばり

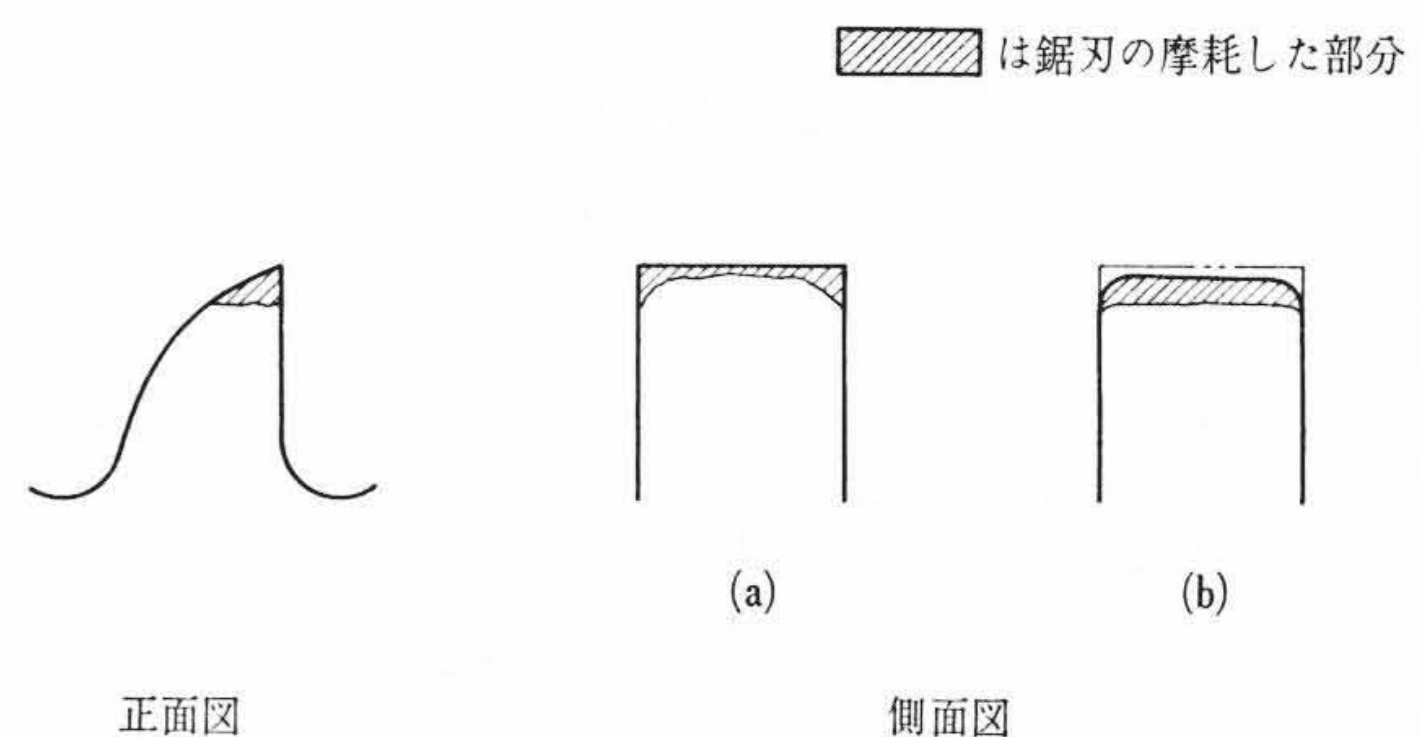


図15 鋸刃の摩耗状況

以上、各種の条件下における鋸断抵抗値について述べたが、これらについては、さらに多数の測定を繰り返し、ばらつきの範囲、あるいはばらつきの原因を究明する必要がある。

5. 鋸断面の状態

冷間鋸断機では、摩擦熱により鋸断部を高温に保つ点からいっても、鋸断面に図14に示すようなかえりおよびばりが発生しやすい。このかえりおよびばりに大きな影響を及ぼすものは、鋸刃送り速度、鋸刃歯形、鋸断回数あるいは鋸刃の剛性度である。これらについて実験した結果の概要につき述べる。

実験は3.2で前述した実験による鋸断抵抗値の測定と同時に進めた。材料としてはH 100×50×5/7を使用した。

鋸刃送り速度によるかえり発生量は、歯形 $A-t_1$ 、 $B-t_1$ 、 $C-t_1$ について速度が遅い場合に多く、速くなるに従って小さくなる。ただし、 $D-t_1$ 、 $E-t_1$ の歯形では速度に関係なくかえり量は少なかった。

鋸断回数によるかえり発生量は、歯形 $A-t_1$ 、 $B-t_1$ 、 $C-t_1$ について1～50カットぐらいまでは小さい。しかしカット数がこれ以上増すとかえり量も増加し、400～500カットでかえり量の増加現象がとまる。さらにカット数が増加するとかえり量はむしろ減少する傾向にある。

歯形 $D-t_1$ 、 $E-t_1$ については、カット数に関係なくかえり量は小さい。ただし、 D 歯形は目づまりを起こし実用的でない。 E 歯形では図10に示すように逃げ角 β を設けているため、目づまりは生じなかった。

鋸刃の剛性度に対するかえり発生量の関係は、図10の $C-t_1$ 歯形について、歯厚 t_2 (この鋸刃の記号を $C-t_2$ とする)のものを製作し、比較実験を行なった。鋸刃送り速度が70 mm/s以上では $C-t_1$ 鋸刃でもかえり発生量は小さいが、 $C-t_2$ の鋸刃では速度に関係なくかえり発生量が大きく、またばりの発生度も大きい。

3.1で述べた実験機でのかえり発生量については、材料の伸びによる影響がみられた。すなわち鋸断材③では鋸断速度が30 mm/s以下で、鋸刃厚も t_2 であったが、かえり発生量は非常に小さかった。かえり発生量の大きさは、下記に示すように伸びの大きいもの

鋸断材③<鋸断材②<鋸断材①≒鋸断材鋼板④

ほど大きかった。

以上、かえり発生量についての実験結果について概要を述べたが、これから以下のように、かえり発生に対する考察ができる。

(1) かき出し効果

図 10 に示す $D-t_1$, $E-t_1$ の歯形のように、歯形先端に有限な長さを持つものは鋸断回数が増しても、歯形先端の断面形状、特に角部の形状が変わらないため、かえり発生量は小さい。このため鋸断部の鋸刃側面での溶融部分はじゅうぶんにかき出しうるものと考えられる。 $A-t_1$, $B-t_1$, $C-t_1$ の歯形では鋸断回数が 50 カット程度まではかえり発生量は小さいが、カット数が増すと歯形側角が図 15 (a) に示すように摩耗して、かえり発生量は大きくなる。ただし、カット数が多くなると図 14 (a) に示した摩耗が進み、図 14 (b) に示すようになり、かえって歯形先端の角が鋭角になり、かえり発生量は小さくなる。このように鋸刃側面の振れにより発生する溶融部分を、鋭角な歯形で除去する現象をかき出し効果と名づけることにした。

(2) 溶け出し効果

速度が速くなるとかえり発生量が小さくなるのは、鋸刃側面と鋸断部側面との接触時間が少なく、したがってこの部分の溶融が少ないためと考えられる。これを溶け出し効果が少ないと呼ぶことにした。

(3) 鋸刃の振れ

鋸刃の厚みが薄くなると、側面振れが大きくなり、かえり発生量も増加する。鋸刃径 1,450 mm ϕ では刃厚 t_2 mm では、 t_1 mm に比較して極端にかえり発生量が大きかった。ただし、刃厚についてはさらに各種の厚みについて実験し、かえりに対して最適刃厚を求める必要がある。刃厚については鋸刃径が大きくなった際、

側面振れに対して剛性度も落ちるので特に注意しなければならない。

6. 結 言

- (1) 総合鋸断抵抗値 P がわかれば、複雑な形状を有する形鋼に対しても鋸断力の計算を可能にした。
- (2) 各種鋸刃歯形、鋸刃送り速度、鋸断回数、鋸刃厚みおよび材質について鋸断試験を行ない、鋸断抵抗値を求めた。
- (3) かえり発生量について実験を行なった結果
 - (a) 鋸刃送り速度が速いほどかえり発生量は小さい。
 - (b) 歯形先端に有限な長さを持つ $D-t_1$, $E-t_1$ 鋸刃は、摩耗により歯形の形状が変わらないので、かえり発生量の変化が少ない。
 - (c) $A-t_1$, $B-t_1$, $C-t_1$ の鋸刃では、カット数が増すとかえり量も増大し最大となるが、これ以上カット数が増すとかえり発生量は減小する傾向にある。
 - (d) 鋸刃厚みが薄くなると側面振れが大きくなり、かえり発生量が増大する。
 - (e) 鋸断材の伸びの小さいものはかえり発生量も小さい。

終わりにトピー工業株式会社と日立製作所との共同研究として行なわれた本実験においては両社の多数のかたがたのご協力を得た。紙上をもって深甚(しんじん)の謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 小川：機械学会誌 (昭 28-8)
- (2) J. M. Lewis: Iron and Steel Eng. Year Book 89 (1943)
- (3) Kling: Steel 6 (1953)

Vol. 54

日 立 評 論

No. 3

目 次

■ 論 文

- ・ フランスポンプ水車の水車二重性能の改善
- ・ 原子炉酸化燃料における気体状核分裂生成物の高温照射中挙動
- ・ 高速タービンの開発
- ・ デイリースタートストップを行なう発電用ボイラドラムの強度的検討
- ・ ふげん制御棒駆動装置の試作
- ・ 工作機群管理システム
- ・ 住宅用灯油だき冷・温風機の開発
- ・ MODEL 400 自動分析装置の開発

- ・ UHF テレビ中継放送用大電力進行波管 1 W 31 の開発
- ・ アルミ導体屋内配線の開発

■ 大形電子計算機特集

- ・ 超高性能電子計算機
- ・ DIPS-1 L システム
- ・ オペレーティングシステム
- ・ アプリケーション
- ・ 外部記憶装置
 - (1) 大容量ファイル記憶装置
 - (2) 大容量磁気ドラム記憶装置
- ・ HITAC 8700 システム

発行所 日立評論社

東京都千代田区丸の内一丁目 5 番 1 号
郵便番号 100

取次店 株式会社 オーム社書店

東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地
郵便番号 101
振替口座 東京 20018 番