

平面研削加工における問題点

Problems in Surface Grinding Processing

吉岡潤一*
Jun'ichi Yoshioka

森国克之*
Katsuyuki Morikuni

内 容 梗 概

従来研削加工については、経験にたよることが多かった。これは研削加工そのものの解明が不十分であるためであろう。したがって今後解決すべき問題は少なくない。本文は筆者らが現場指導の体験から得た事柄を概説したものである。すなわち、平面研削盤の選択に当たっては、研削盤の形式、しゅう動部の形状とそのテーブル浮上り量の問題、砥石(といし)軸軸受の精度、油圧回路などを考慮すべきであり、他方実際の研削作業においては、電磁チャックの通電による加熱変形、ドレッシング速度による研削温度の変化、砥石の性能と研削温度の関係などに注意しなければならないのでこれらを解説した。

1. 緒 言

切削加工のうちいわゆる刃具による加工は長い歴史をもっていることと、その工具としての構成が比較的単純なことなどから技術研究も広範で深い領域に達しているが、砥石による加工は見かけ上単純でありながら切削工具としての作用の複雑な“砥石”を使用していることから、その技術研究は生産現場の要求に十分答え得るものではなかった。しかし、研削加工分野における最近の研究業績には目ざましいものがあり、いわゆる理論は理論、現場は現場といわれた時代から急速に脱皮しつつある。ここではこの経験的なものを主とした時代から近代化されつつある研削加工のうちいわゆる精密平面研削について生産現場で配慮されている問題点をあげてみる。問題点はこれを大別すると(1)研削盤本体、(2)砥石および研削油剤の選択、(3)実際の研削作業の三項目に分かれるが、本稿では(1)および(3)について概要を述べる。

2. 研削盤の選択

2.1 研削盤の形式

平面研削盤の形式として横軸、立軸の別、テーブル運動方式から円テーブル回転、角テーブル往復などの各種があるが、いわゆる平面研削のみでなく側面、みぞ形研削のできる横軸角テーブル形が最も一般的なものとして選択されるのでこれを例として考察する。

この機種では前後方向の動きが加工物側が動くか、または砥石側が動くかによってその研削精度が区分されている。すなわち JIS においても工作物上下面の平行度に対して(前後方向の)

工作物側が前後するもの 0.015 mm/m

砥石側が前後するもの 0.030 mm/m

と前者のほうが研削精度が高くなっている点はこの点は重視される。一般の工作機械の場合と同じく平面研削盤においても作業環境や、潤滑油および油圧系の温度変化によって生ずる熱変位に対しこの両者は明白な差異を示している。

(1) 工作物側が前後するもの

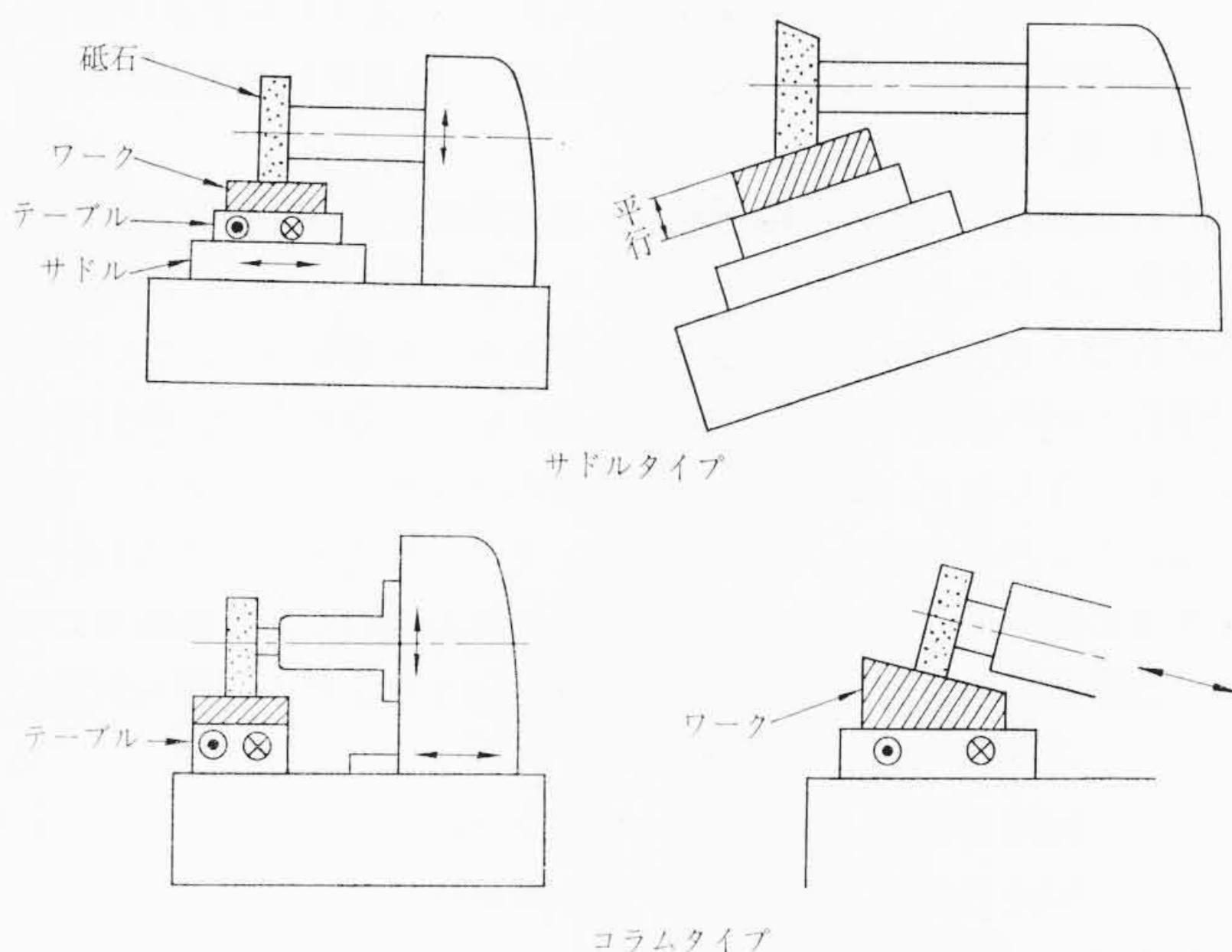
(サドルタイプ)

第1図のように熱変位によってテーブル上面の動きが傾斜してもドレッシング機構をテーブル上面に設けてドレッシングすれば工作物の平行度はもとより前後送りによる砥石目も生ぜしめない。

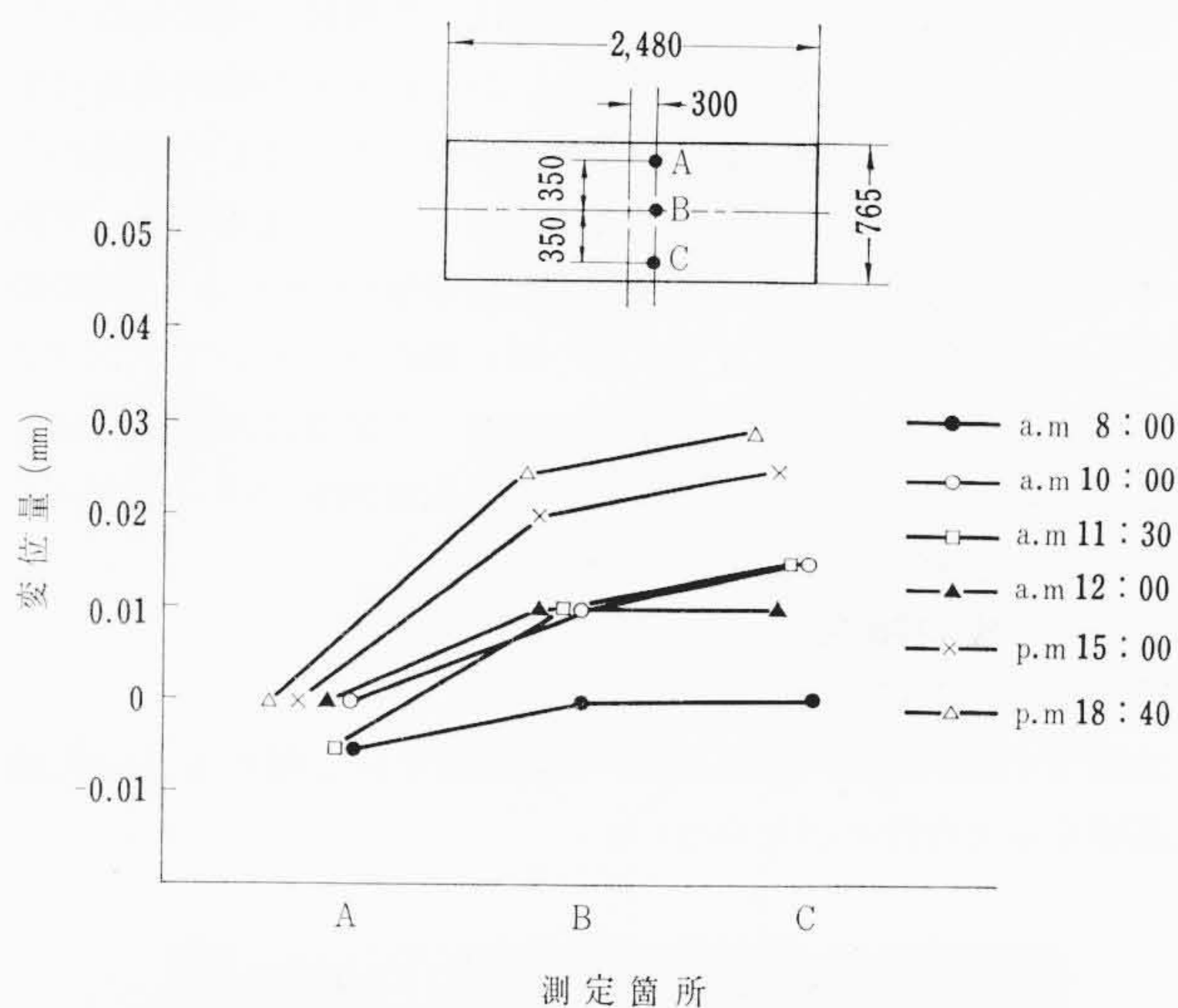
(2) 砥石側が前後するもの

砥石頭が前後するもの (スピンドルヘッドタイプ)

コラムが前後するもの (コラムタイプ)



第1図 平面研削盤の形式



第2図 スピンドルヘッドタイプ平面研削盤における砥石頭のテーブル上面に対する精度変化の例

これらのタイプ(前者の例, THOMPSON 社製, 後者の例, E LB 社製)では前後する部分のしゅう動面が熱膨張などにより変位した場合その影響は直ちに研削精度の変化として現われるので対策が考慮されねばならない。(熱変化が生じたと判断されるたびにテーブル面あるいはチャック面をセルフグライディングすることは実用上問題となる) 第2図はスピンドルヘッドタイプ平面研削盤における砥石頭のテーブル上面に対する精度変化の一例

* 日立製作所川崎工場

であってこの種の機械における1日を通じての精度確保のむずかしさを表わしている。サドルタイプでは0.005 mm/500 mm ぐらいの精度に保持できる。

2.2 油圧回路

平面研削盤では一般的な研削能率以外に研削熱に起因する工作物の研削焼け、割れ、および真直度低下防止などの都合上から、テーブル速度は20 m/min以上の高速度を必要とし、反面低速域も3 m/min以下まで必要とする。したがって変速域は通常1:10程度の割合になるが、一般的な油圧回路すなわち絞り弁による変速を行なうとポンプの吐出量は最大スピード時の吐出量になっているためにその大部分をリリーフバルブから逃がすことになり、このエネルギー損失はすべて熱に変わって機械本体の変位増大の原因となる。したがってポンプは可変吐出量形になっているものを選択すべきであり、これによって密閉回路を構成できるとともにフィルタなどの吸い込み損失を減少し油温上昇は極度に低下する。一例を次に記す。

一般回路 油温 40°C up/8時間 (国産A社製平面研削盤)

密閉回路 油温 8°C up/8時間 (国産H社製平面研削盤)

2.3 砥石軸軸受

砥石軸の駆動方式とも関連して、砥石軸軸受精度が研削精度上最も重要であることはいうまでもないが、この精度のいかんは研削の前に行なうドレッシングに際しても砥石面に影響を与え、ひいては研削仕上面の良否にかかわるので要求に応じ十分に選択、検討されなければならない。滑り軸受、超精密のアンギュラコンタクト玉軸受などのころがり軸受、流体軸受などそれぞれ得失を有するわけで使用者の高い選択性が要求されている。砥石軸のしゅう動精度については生産現場における数値として次のようなものがあげられる。

(JIS 静的数値 0.01 mm)

国産A社製、動的数値 0.0007 mm

国産B社製、動的数値 0.0004 mm

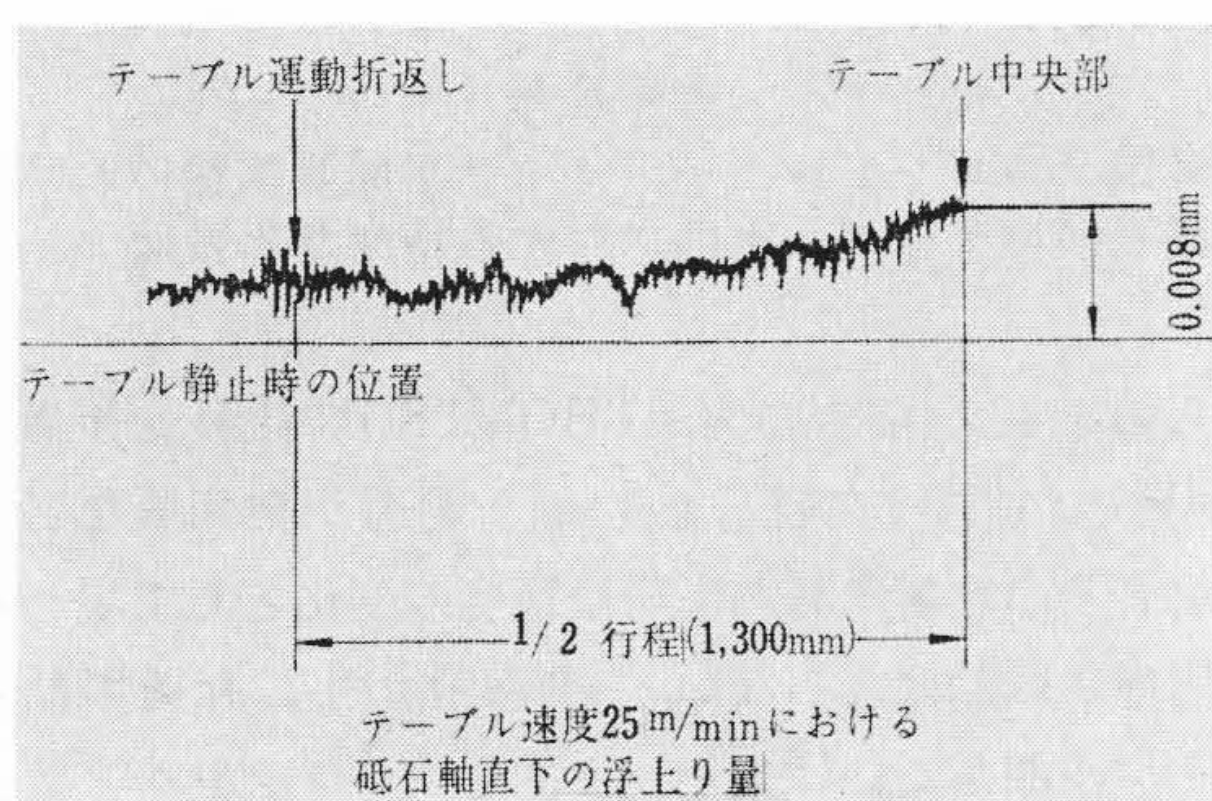
2.4 しゅう動部の形状

運動伝達機構を含めて研削軸軸受の問題とともに重要なものにしゅう動部の形状がある。しかしこの問題は工作機械全般にわたる問題であるのでここに喋々する必要はないが、近年その動的性能のすぐれていることやギブ調整などの作業が不要であるなどの理由からボールまたはローラガイド方式が賞用されている。従来のV、平形のしゅう動部を有するも外国T社製平面研削盤(V平しゅう動面)のテーブルの運動中における浮上り量を砥石軸直下においてインダクタンスタイプのピックアップを用いて測定した結果は第3図に示すように0.008 mmであるが、国産H社製平面研削盤(ボールガイド方式)では浮き上がりは認められなかった。

2.5 その他の事項

(1) 据付けと基礎の問題

地耐力(10 Ton/m²程度必要)を検討し十分な剛性をもった独立基礎を与えなければならない。



第3図 スピンドルヘッドタイプ平面研削における
テーブル浮上り波形の例(V、平形しゅう動面の場合)

- (2) 機械のコラムまわりの剛性(砥石と工作物との相対振動の抑制)
- (3) ドレッシング機構とその取付位置
- (4) 電気品の安定性
- (5) 作業環境と気温の変化(年間温度差の圧縮)
- (6) 操作性の向上

3. 作業上の問題点

ここでは主として研削の際の発熱による砥石と工作物との接触面の温度上昇、工作物表層部の温度分布、砥石の性能などに関する事項をとり上げる。

3.1 一般的事項

研削加工はその本質は明らかに切削加工であり、従来からフライスによる切削にたとえてその切刃が非常に小さくなったものと考えられてきた。このように考えることは研削作用の概念を与えるうえの助けとなるが、研削は次の点に特長がある。

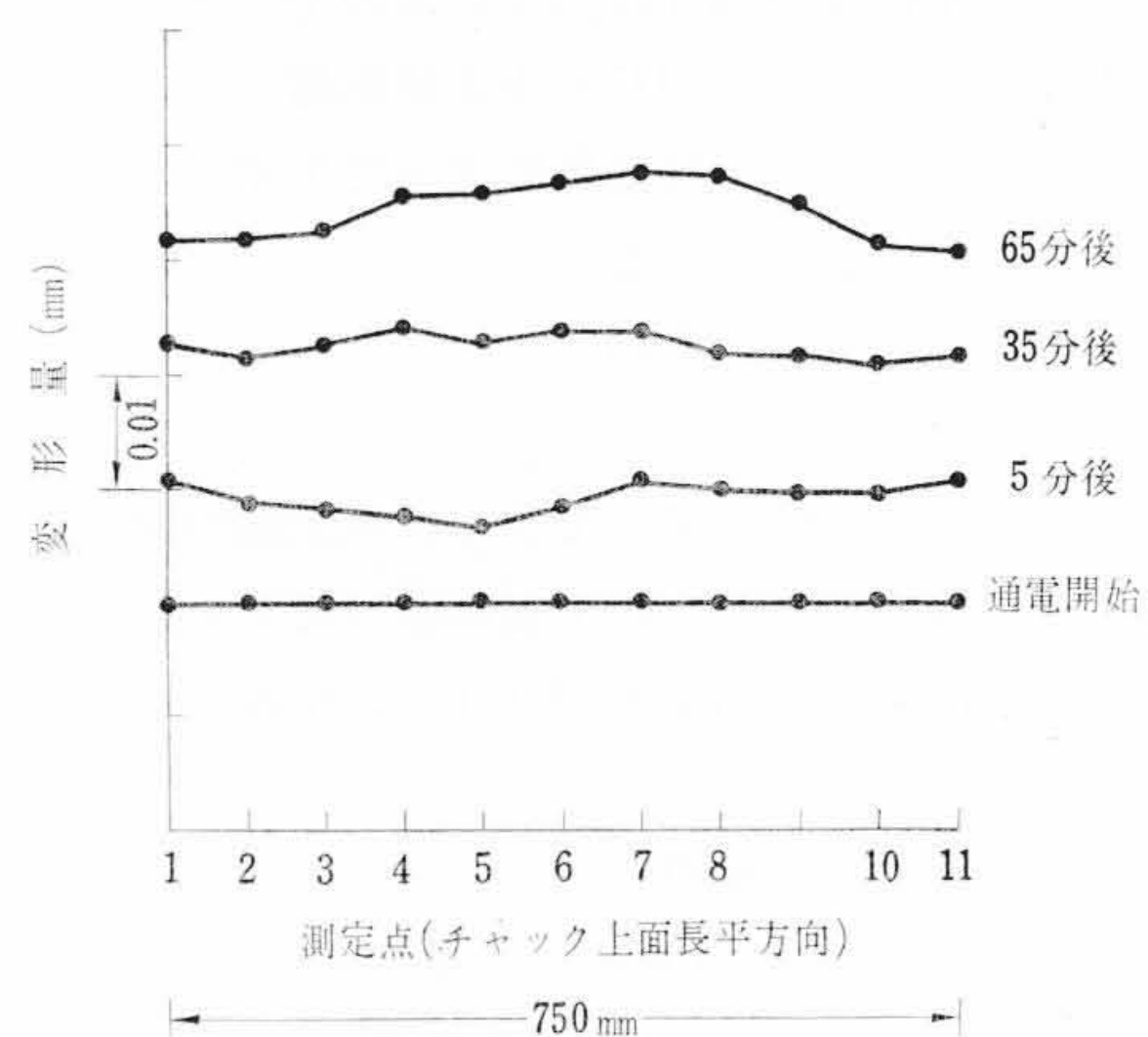
- (1) 切刃の形状がフライスのように幾何学的に統一されたものでない。
- (2) 切刃の配列もまたランダムである。したがって切刃形状を幾何学的に想定し、規則的な配列として取扱った研究結果を、そのまま生産現場の問題解決の手段としては適用できない。次に
- (3) 切削速度についても2,000 m/minというフライスカッタより1けた高い値である。この高速切削によってもたらされる、工作物材料の塑性的性質の変化と研削部分の高温化はそれに影響される多くの問題点を包含している。

3.2 電磁チャックの通電による加熱変形

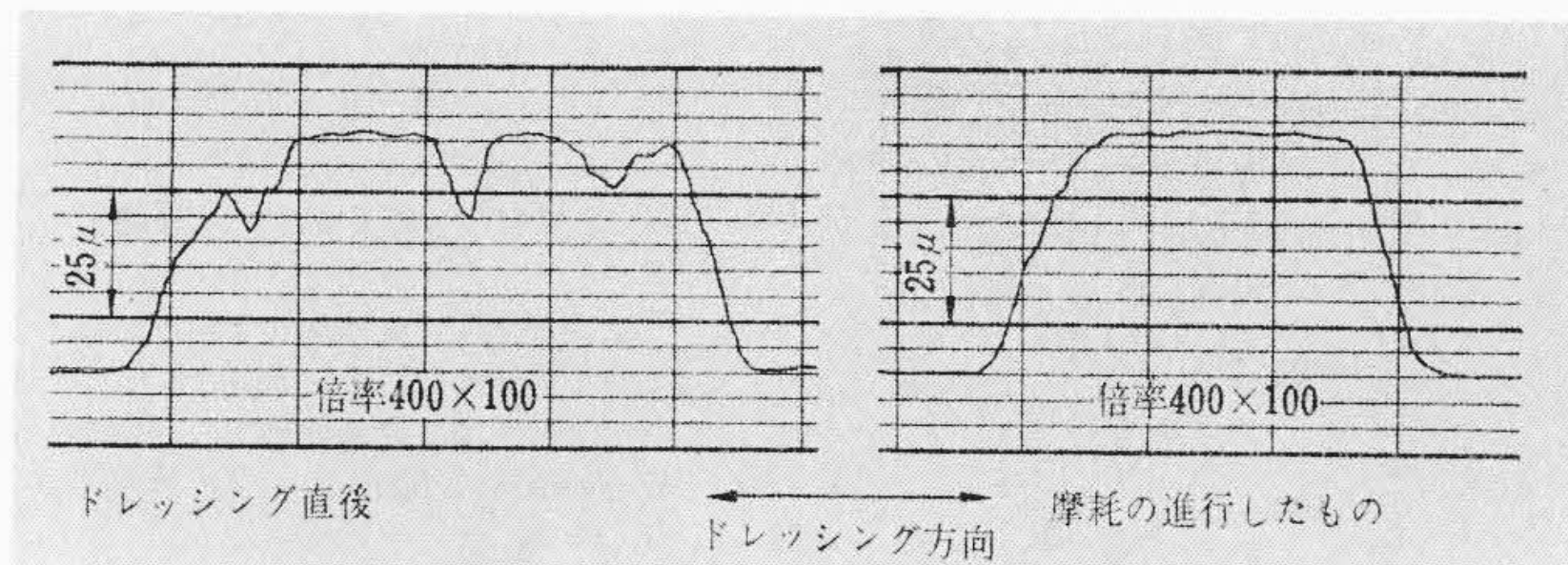
通電に伴う温度の上昇によりチャック上面の平坦度の変化は加工精度を害する。側面からの補強と作業開始から前からスイッチンして温度上昇が飽和状態になってから作業を行なうなどの対策が考えられるが飽和するまでに長時間を要するなど、本質的解決にはならない(第4図参照)。一般には工作物の真直度を求めるためその上下面の加工を交互にくり返し行なったり、適当なブロックを介在させるなどの現場的な方法をとらざるを得ない。

3.3 砥石のドレッシングについて

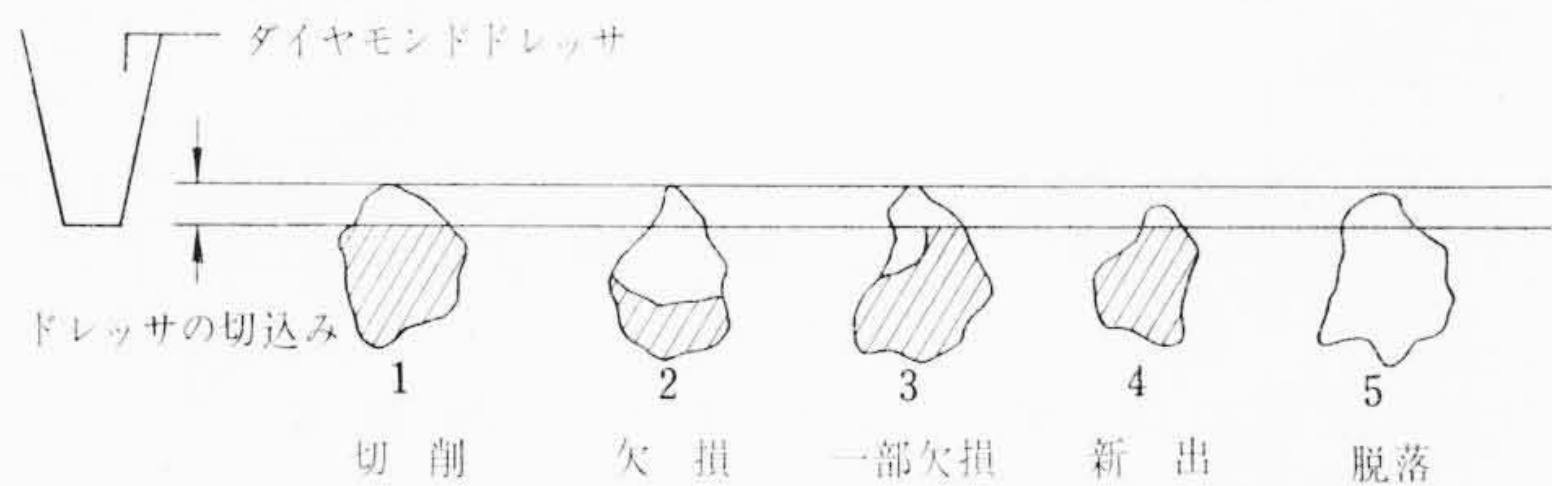
ドレッシングを行なうことによって生ずる砥石表面の変化のうち、砥石外径の減少があるが、これは、特にここで言及する必要はないので、他のもう一つの問題すなわち砥粒切刃の変化と砥粒分布状況の変化について考察する。砥石の作用面を構成する砥粒切刃が研削作業前、すなわちドレッシング直後、および作業中にどのようにその形が変化するかということは研削加工の実態を知るうえできわめて重要な事柄であり、多くの研究者によってなお究明されつつある問題である。第5図は砥粒のドレッシング直後および摩耗が進



第4図 電磁チャック上面の時間経過と変形の一例



第5図 砥粒の変化(WA-46-J 砥石)



第6図 ドレッシングによる砥粒変化の模型

行して寿命に至ったと考えられるもののプロフィールであって一般に模型的に表現されていたものと近似した状況を示している。精密研削においてはこの砥粒1個1個の状況が仕上げ面などに影響を及ぼすので重視される。第6図はドレッシングによる砥粒の変化を模型的に示したもので、ドレッサによって切削され、へき開面を更新するもの、欠損するもの、一部に欠損を生ずるもの、などの状況を表わしているが、この変化および1個の砥粒のへき開状況はこのドレッサの送り速度によって変化し、と粒および結合剤本来の機械的性質とともに重要な影響を与えるものである。そしてドレッシングを一般刃具の再研削と同一視することは本質的な意味で違いのあることを認めなければならない。

3.4 ドレッシング速度(ドレッサの送り速度)と研削温度

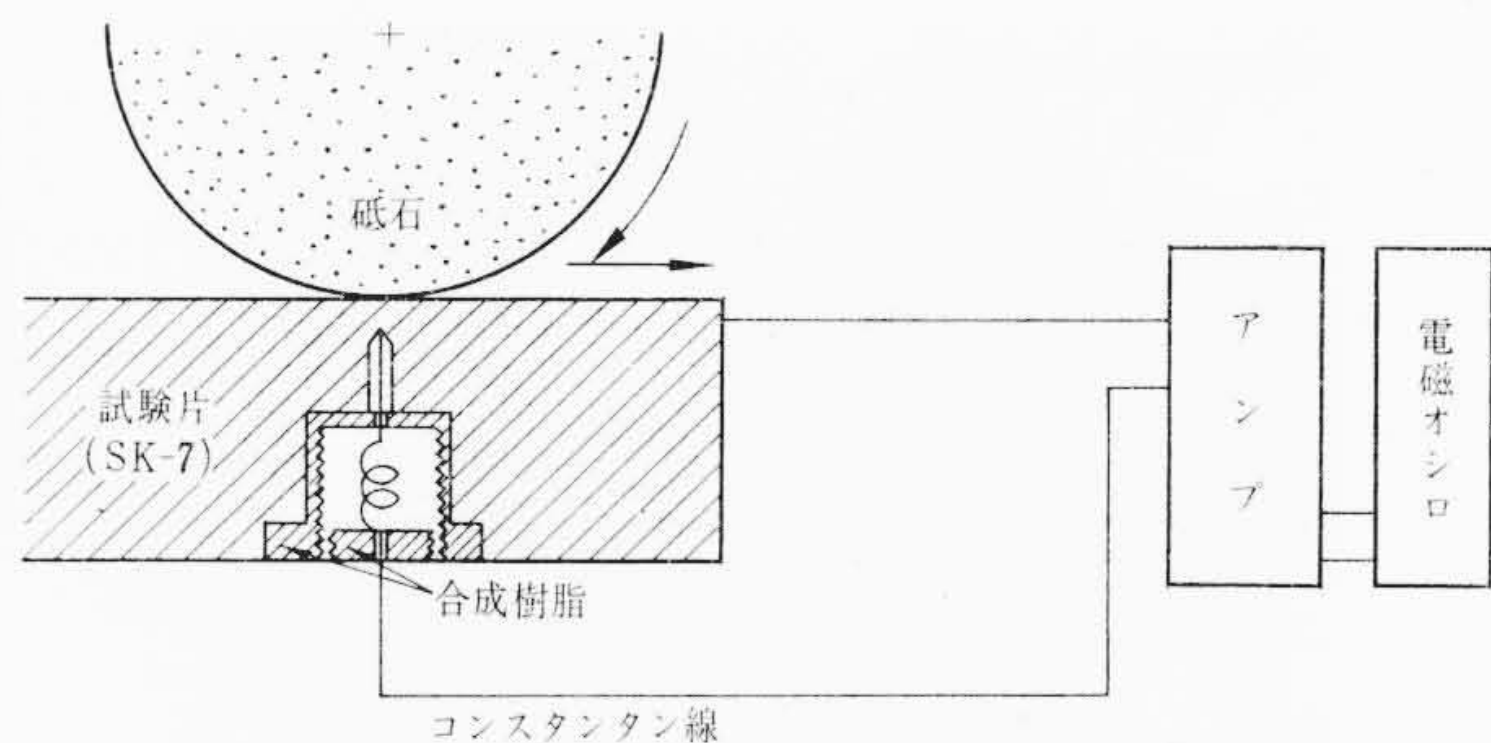
ドレッシング速度による研削抵抗や仕上面あらさの変化についてはすでに多くの文献によってその効果が究明されているのでここでは研削温度の変化について述べる。

3.4.1 測定方法

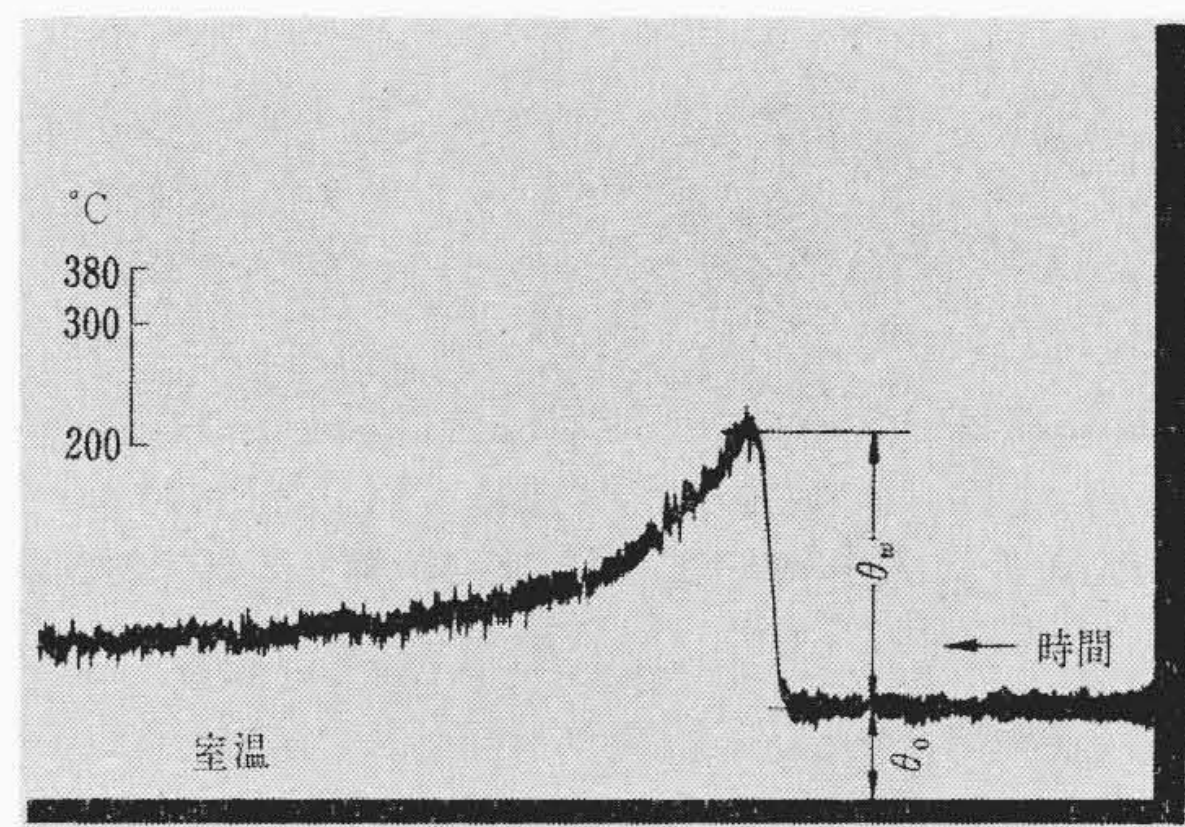
研削温度の測定法については工作物中に熱電対を埋め込むなどの方法がとられてきたが、今回は最近一般に行なわれるようになった文献⁽¹⁾にならった方法を採用した。すなわち第7図のように工作物の下面から工作物と熱電対を構成せしめる線材(工作物材質SK-7に対してはコンスタンタン線)をそう入し、研削時の温度上昇による熱起電力を記録する方法によった。瞬間的に発生し変化する研削熱に追従させるためコンスタンタン線の先端は丸味半径10 μ 程度に十分鋭くし、コンスタンタン線をコイル状にしてネジの締付程度によって試験片との接触圧を一定に保てるように調節した。実際の研削に当たって砥石の切込みはテーブルの往き行程(アップカット研削)のみ与え、戻り行程では与えなかった。この方法で順次切込んでいくとついにコンスタンタン線が研削面に現われる。この間の記録によって研削面からの深さに沿った温度分布が求められる。第8図はオシログラムの一例であるが θ_0 は工作物の温度を、 θ_w は温度上昇を表わしている。研削行程のくり返しにつれて θ_0 は研削熱の蓄積によってしだいに上昇してくる。今回の実験条件では約350 $^{\circ}$ Cで平衡に至った、当然のことではあるが θ_0 は現場作業にとって、工作物の焼戻し温度に関係があり、また θ_w は表面の変質層に関係するゆえ重要である。

3.4.2 測定値

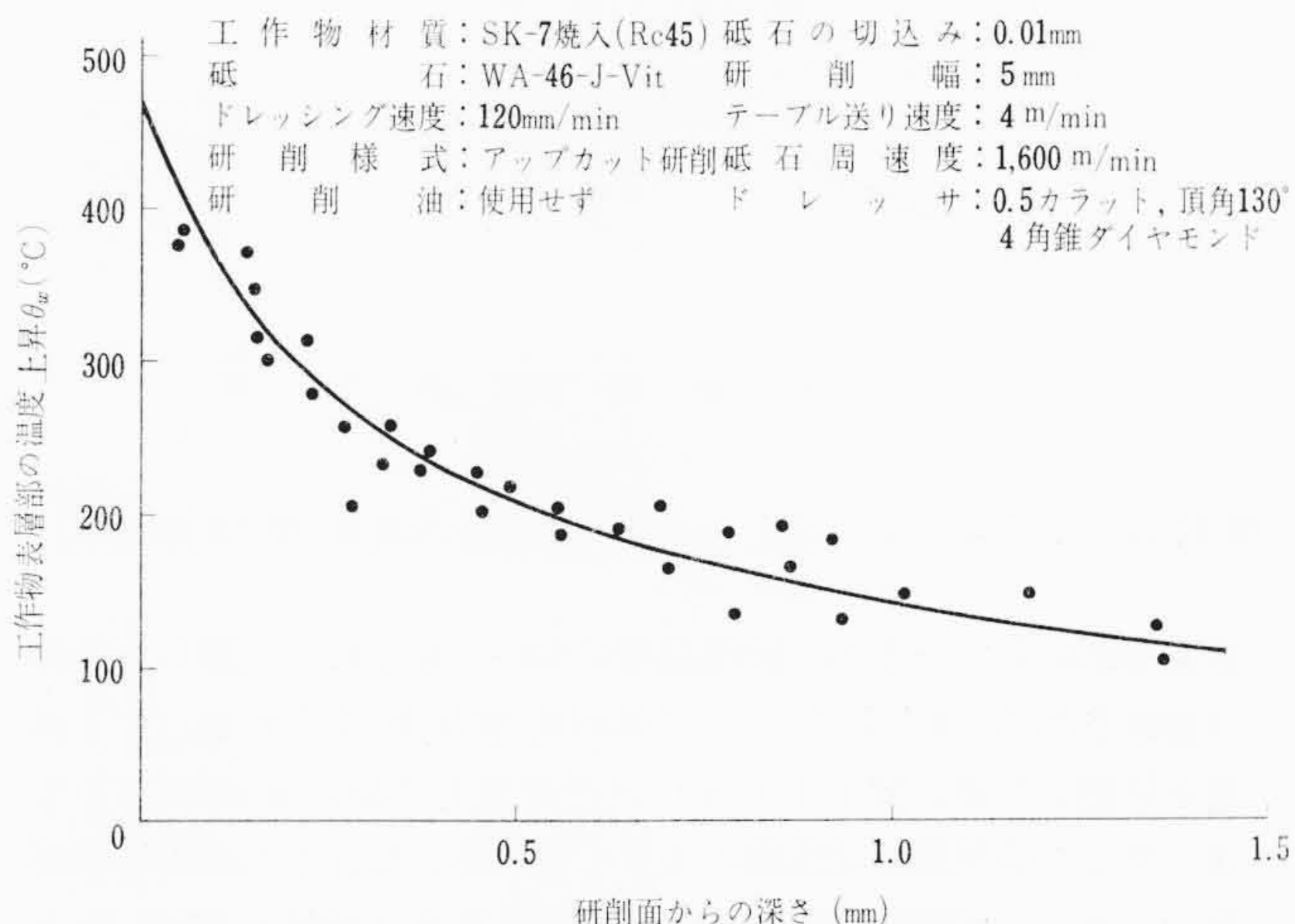
かくして得られた測定値を第9図および第10図に示す。第9図はドレッシング速度120 mm/minの場合の例であり、第10図は今回の実験範囲50 mm/min~400 mm/minのものについてそれぞれ研削面下30 μ の点におけるドレッシング速度と研削温度



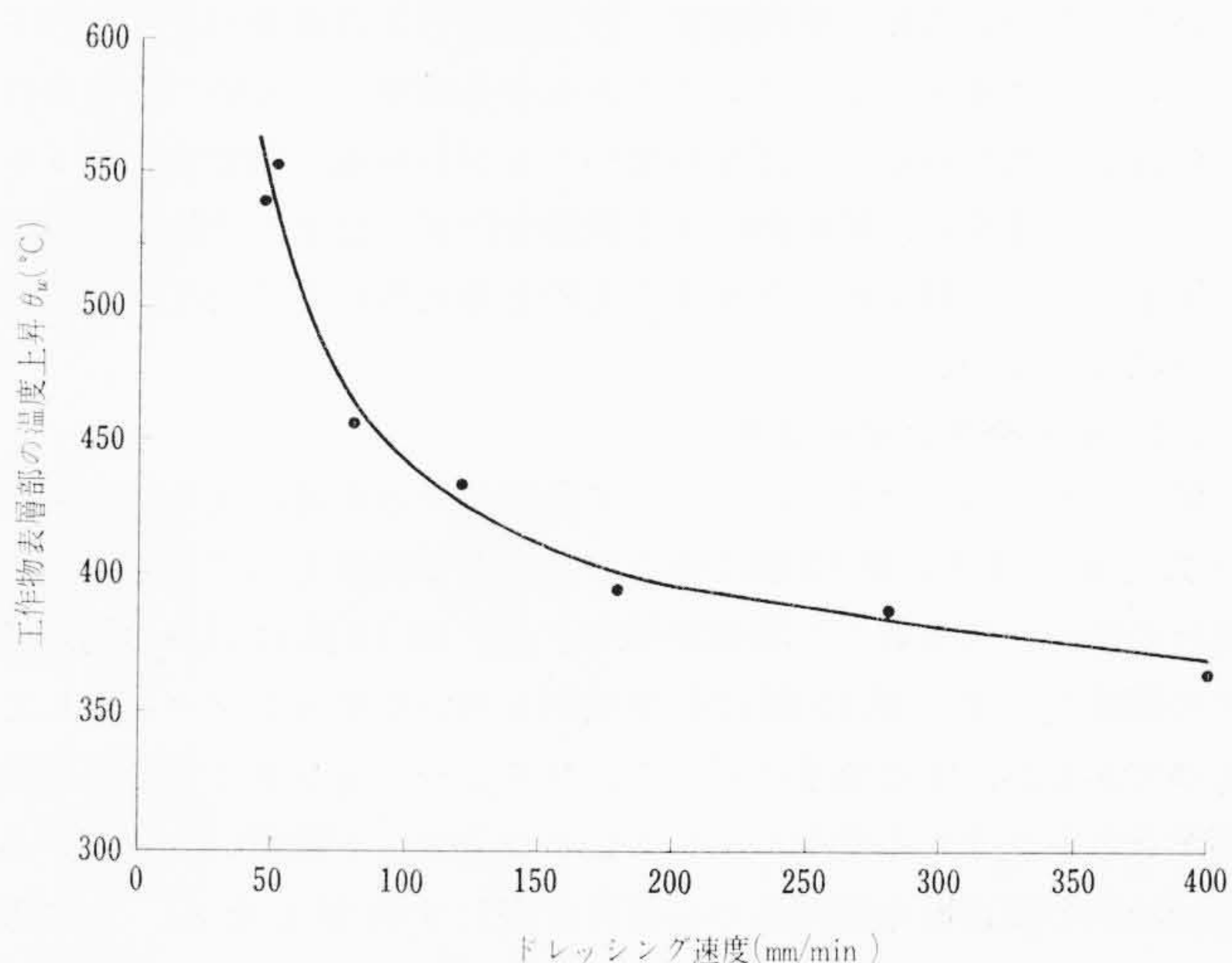
第7図 研削温度測定装置



第8図 研削温度のオシログラム

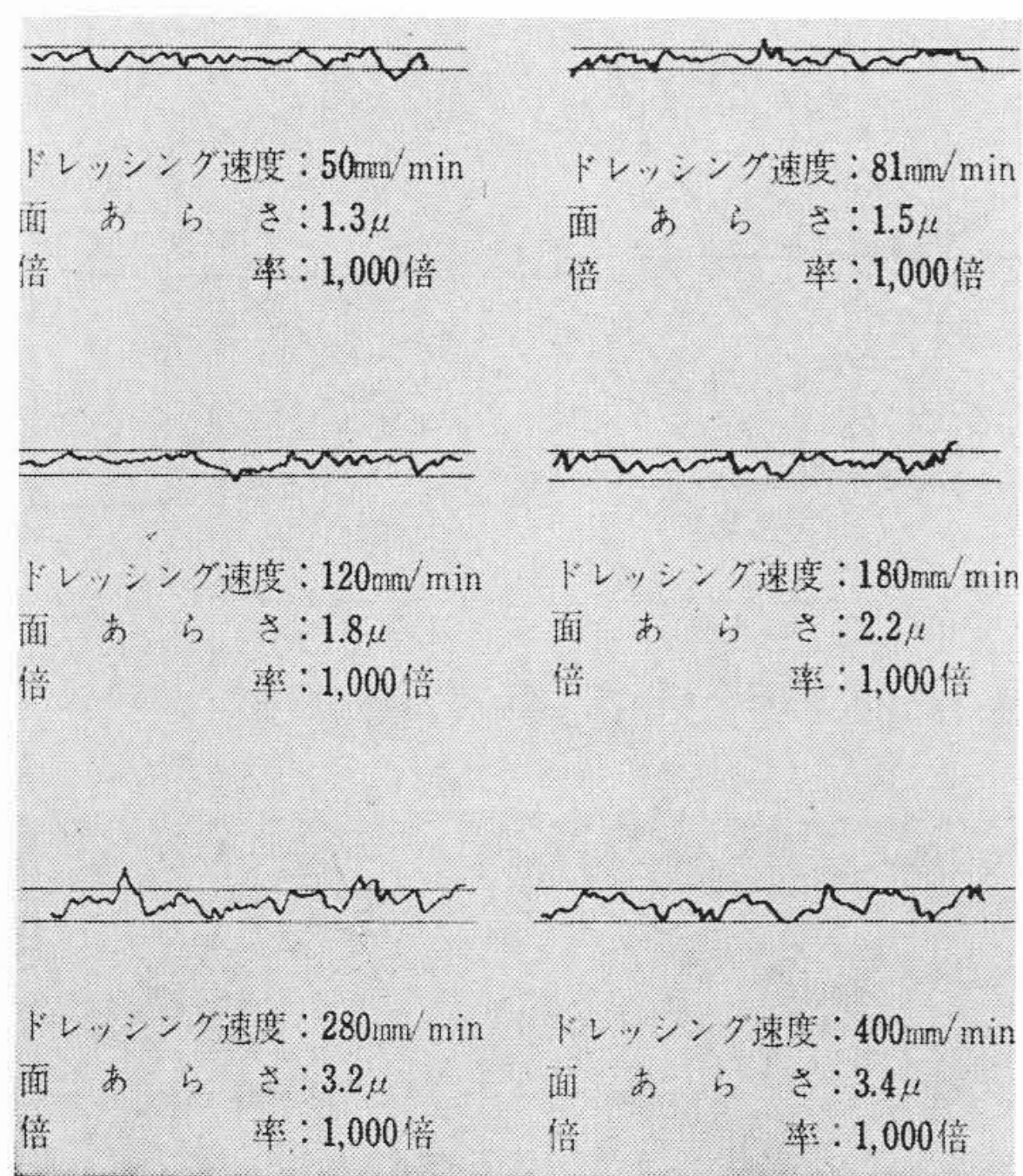


第9図 研削面からの深さと温度の関係

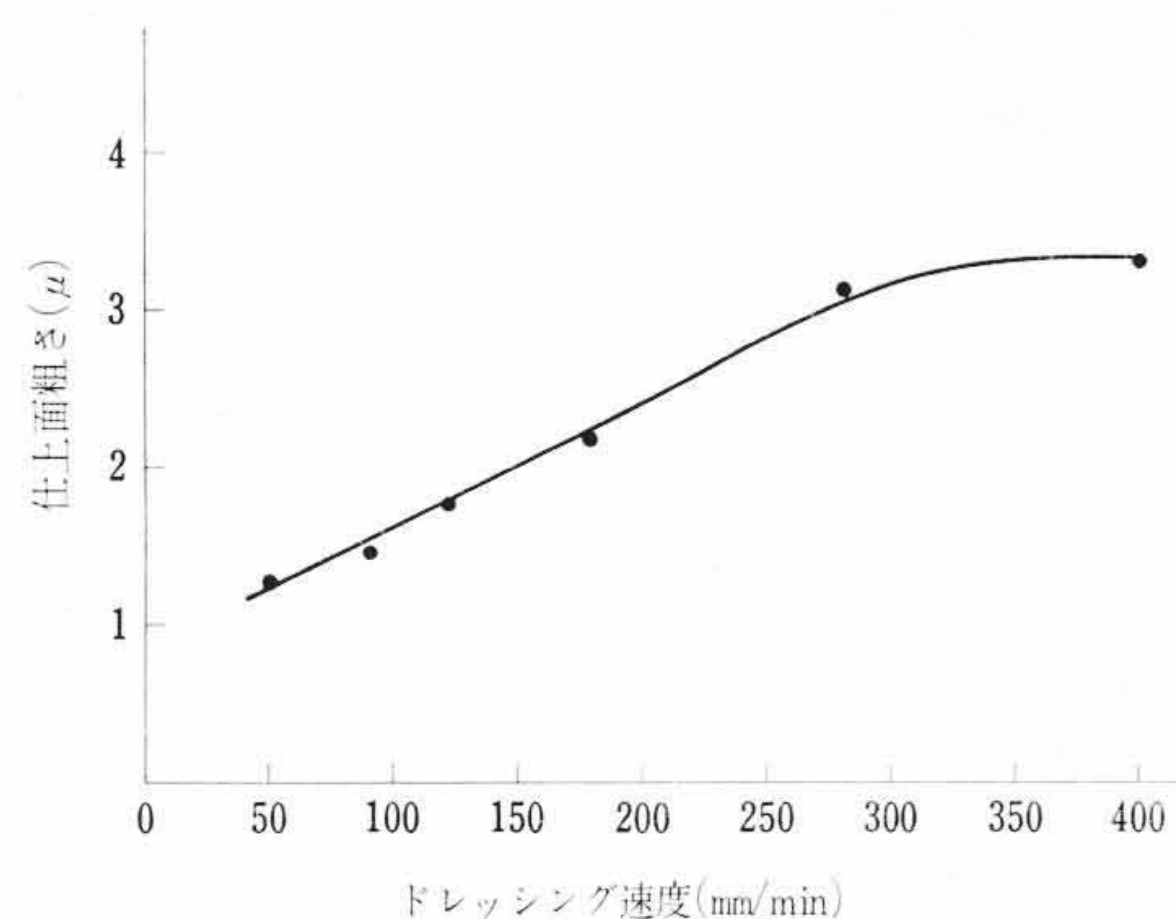


第10図 研削面下30 μ の点におけるドレッシング速度と研削温度の関係(ドレッシング速度以外は第9図に同じ)

の関係をプロットしたものである。文献⁽²⁾ではドレッシング速度と研削抵抗の関係における臨界点(臨界ドレッシング速度)の存在



第11図 ドレッシング速度と仕上面あらし
(研削砥石, 工作物材質, 研削条件第9, 10図参照)

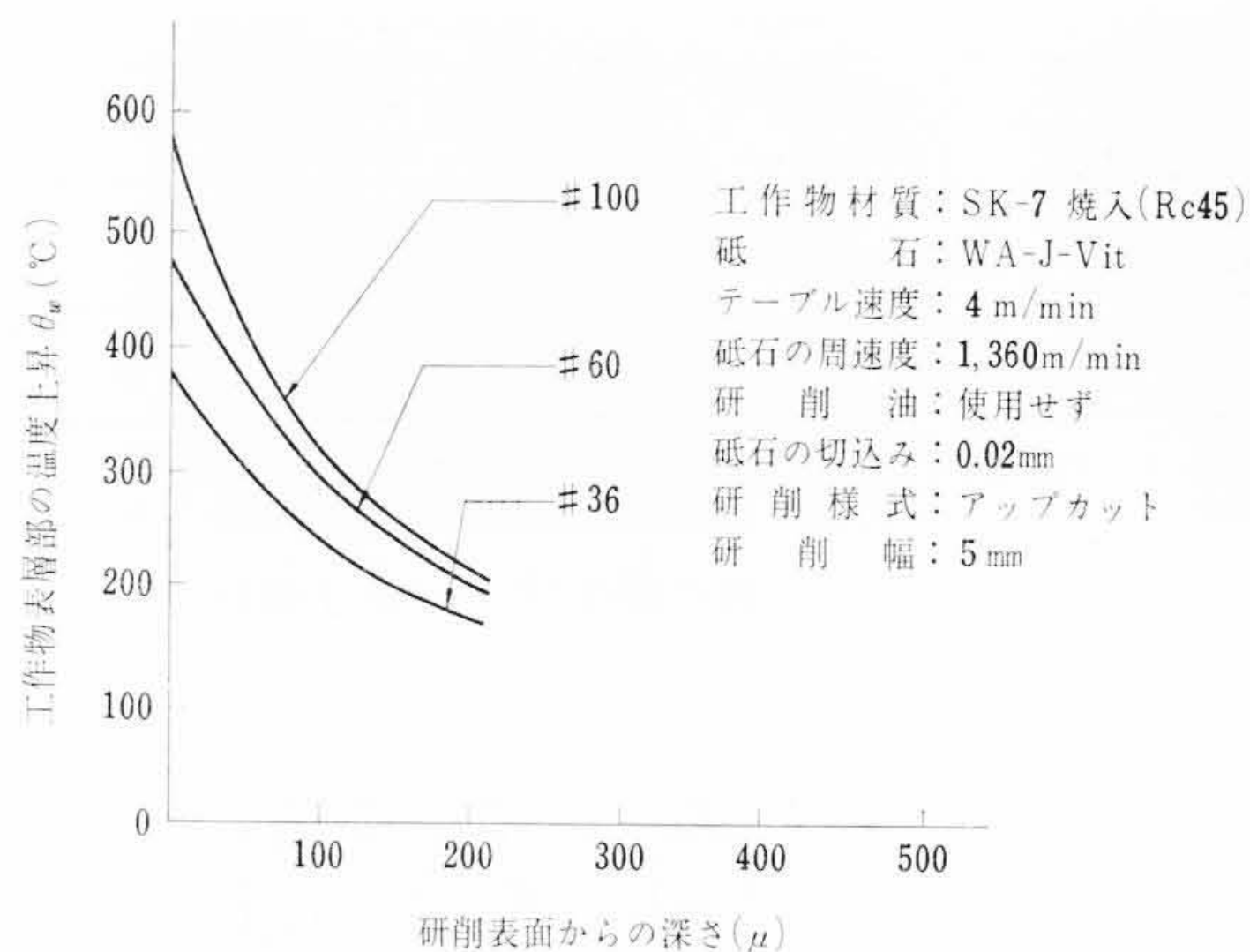


第12図 ドレッシング速度と仕上面あらしの関係(第11図参照)

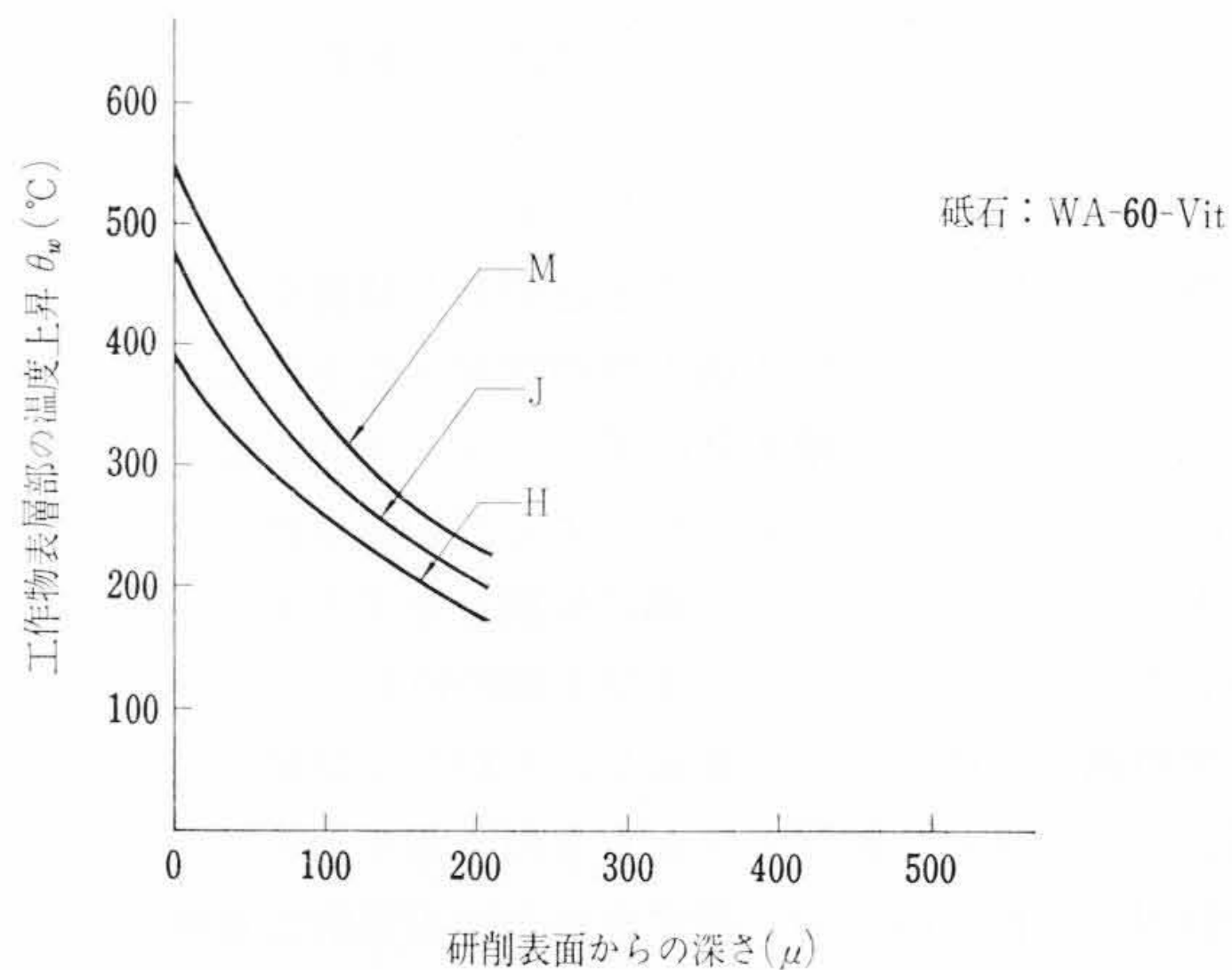
を明らかにしているが, 研削温度についてもそれに近似した傾向が観察される。すなわち, ここにあげた WA-46-J-Vit 砥石で工具鋼を研削した場合でもドレッシング速度を 120 mm/min よりも遅くすると研削温度は急激に上昇している。なおこの研削温度の測定に当たって同時に記録した仕上面あらしの関係を第11図と第12図に示す。この結果は一般に確認されている傾向を示しているものであるが, 研削温度, 仕上面あらしの両者がそれぞれドレッシング効果をもっていることを十分理解して現場の作業条件の設定に当たらなければならないことがわかる。換言すればドレッシング速度には研削熱による損傷を防ぎ, 仕上り寸法精度を確保するための最小値が存在するものと考えられるので注意しなければならない。

3.5 研削条件と研削温度

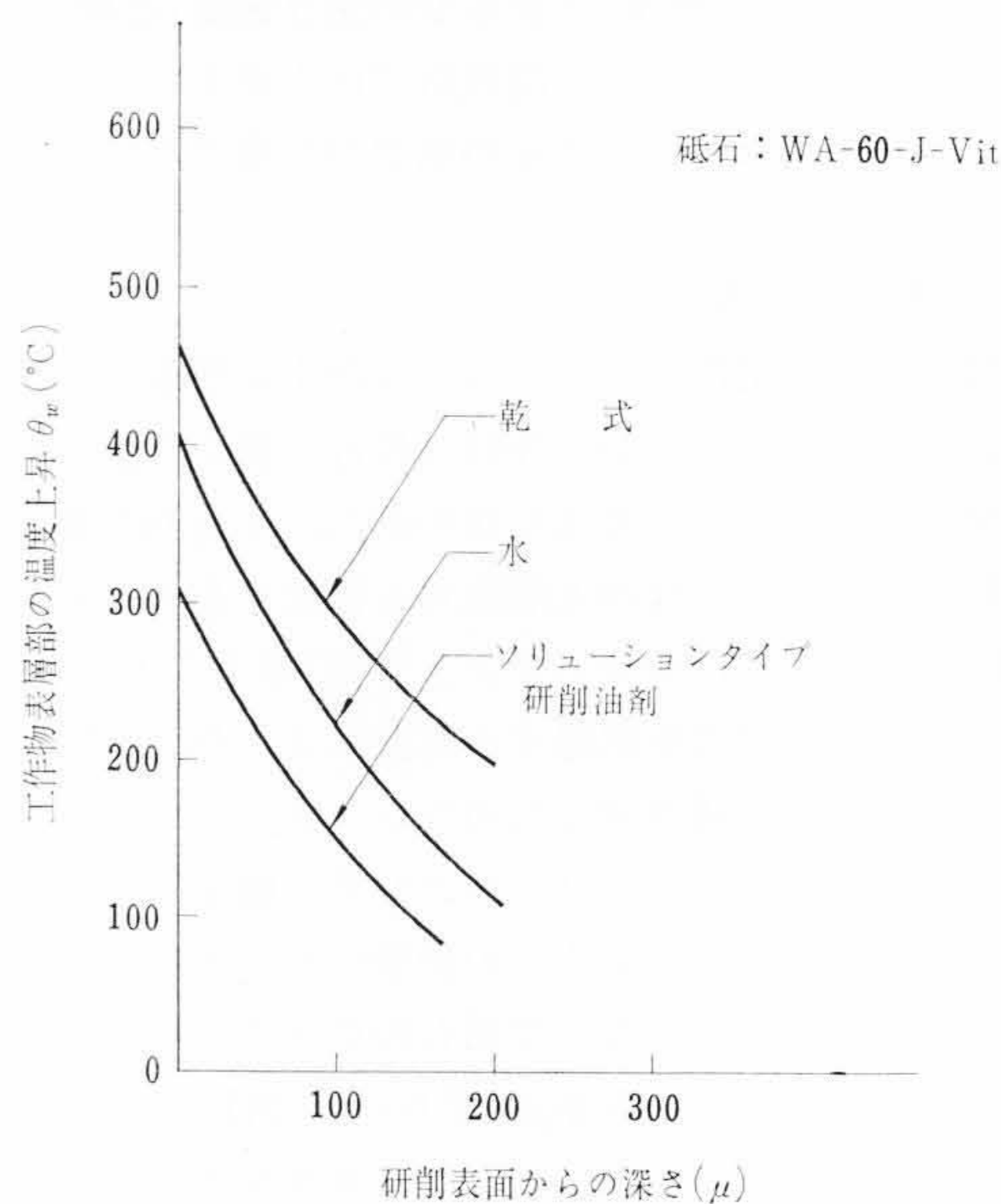
前述した研削温度測定法によって研削条件の相違による温度変化を二, 三紹介する。第13図は砥石の粒度との関係を示すもので研削抵抗の傾向と併せ考えた場合納得できる。第14図は砥石の結合度との関係を示す。第15図は研削油剤を用いた場合をプロットしたものであるが, 水の効果に対して, ソリューションタイプの研削油剤がそれを上まわる効果を示していることは, 一般にいわれている研削油剤の浸透性や潤滑性の必要性を表わす資料となる。次に第16図は一連の温度測定に用いた砥石の砥粒分布の観察と, 研削条件から算出した砥粒の切込み深さと研削温度の関係を示したものであるが, 砥石の切込み, 研削速度, テーブル速度を一定とした場合には図から明らかなように, 砥粒切込み深さと研削温度の関係はほぼ一本の直線の上のり, この両者の関係が密接なものであること



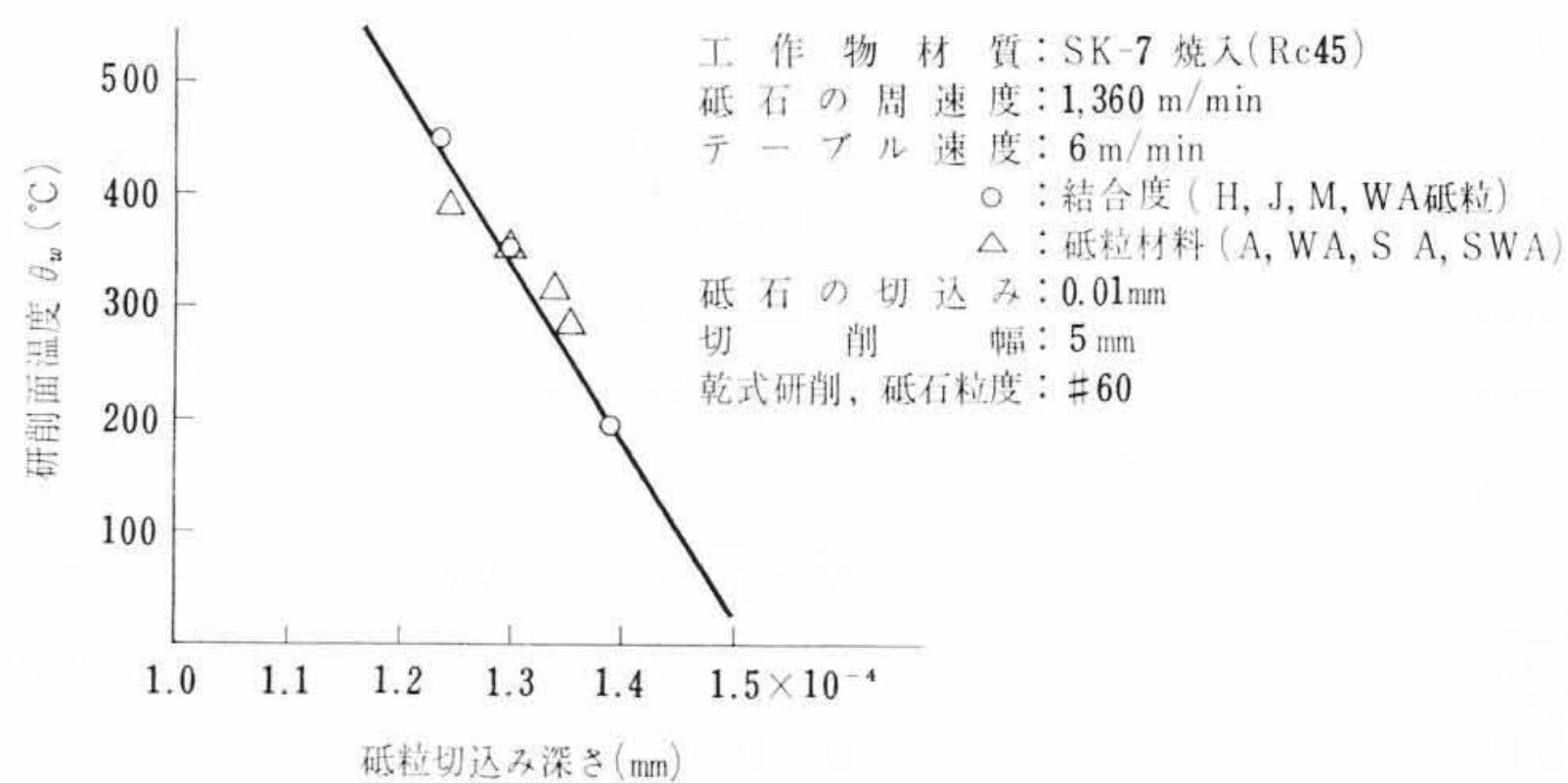
第13図 砥石の粒度と研削温度



第14図 砥石の結合度と研削温度(研削条件第13図参照)



第15図 研削油剤と研削温度(研削条件第13図参照)



第16図 砥粒切込み深さと研削温度

がわかる。このことは今後現場で砥石(砥粒材質, 結合度, 結合剤)を選択するうえにおいて重要な意味をもつものであり, メーカーの決めた砥石の要素のみでなく研削性能についてつっこんだ立場から砥石を選択しなければならないことを示している。

3.6 その他の問題点

- (1) 作業中における工作物のそり, 曲がり,
- (2) 研削条件に起因するびびり

砥石の選択を誤まった場合以外はほとんど機械本体に起因する。

- (3) いわゆる切残し量とスパークアウト作業の回数
- (4) あらさの要素, 円筒形研削盤作業との精度差
- (5) 砥石軸および砥石の静的, 動的バランス

4. 結 言

研削加工の問題について平面研削の場合を例とし, 従来ともすれば定性的な考え方でかたづけられがちであった事柄について概括的に取り上げた。本文で述べたように, テーブル運動の検討および研削温度や仕上面あらさに及ぼすドレッシング速度の影響などを実際に確認し加工精度の向上を図るためには, 生産現場が主体となり経験的なもののみに頼ることなく, 技術研究を積み重ねて行かねばならない。なお研削温度の測定に当たり東京大学工学部竹中規雄教授, 笹谷重康氏に種々ご指導いただいたことに対し, ここに深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) W. E. Littmann & J. Wulff: Trans. ASM, 47, (1955), P. 692
- (2) 竹中, 笹谷: 日本機械学会論文集 18, 74, (1952), p. 55



特許第416181号

特 許 の 紹 介



油 井 兄 朝・水 野 薫

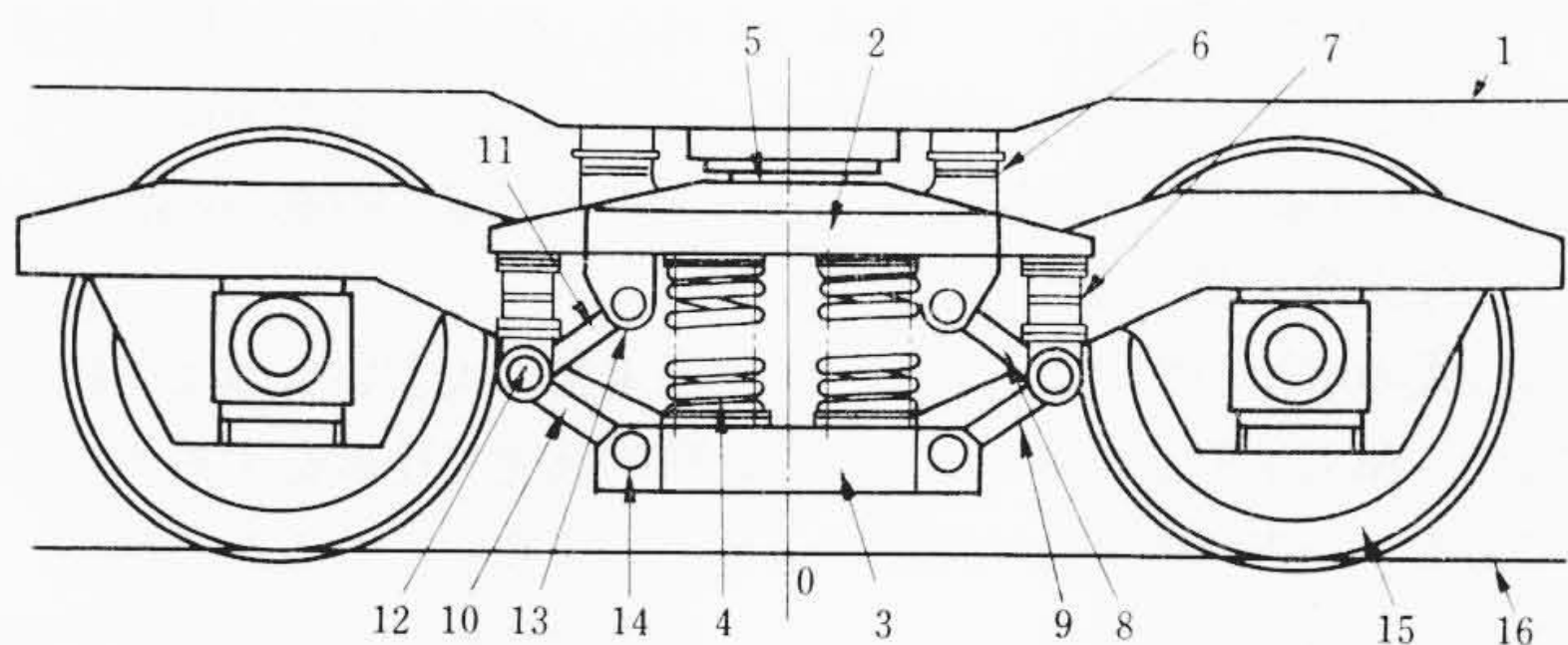
機 関 車 用 台 車

機関車の起動時における軸重移動現象が機関車のけん引能力を低下させることは周知である。

この発明は台車自身で軸重移動を完全に近く防止しうる簡単な機構を提供したものである。

すなわち, 揺枕2と台枠3との間を両端および肘点にそれぞれ球面ブッシュ(またはユニバーサルジョイント)12, 13, 14を有し肘点が外方に位置するよう, 相対向するL字形リンク8, 9, 10, 11により連結し, 各L字形リンクの肘点と揺枕との間に防振ゴム7またはこれに類するものを介装し, 揺枕と車体との間に側受6を配置してなり, 前記L字形リンクを通して台枠に加えられる力の方向が台車中心線上のレール面上0点に向かうように構成したものである。

なお, 図中1は車体, 4は枕バネ, 5は心皿, 15は車輪, 16はレールを示す。



第 1 図

台枠3に作用する力は台車中心線上のレール面上の点0を通るFなる力が作用していることになるが, この力による台車の回転モーメントMは

$$M = F \times \overline{AC} - F \times \overline{AB} = F(\overline{AC} - \overline{AB})$$

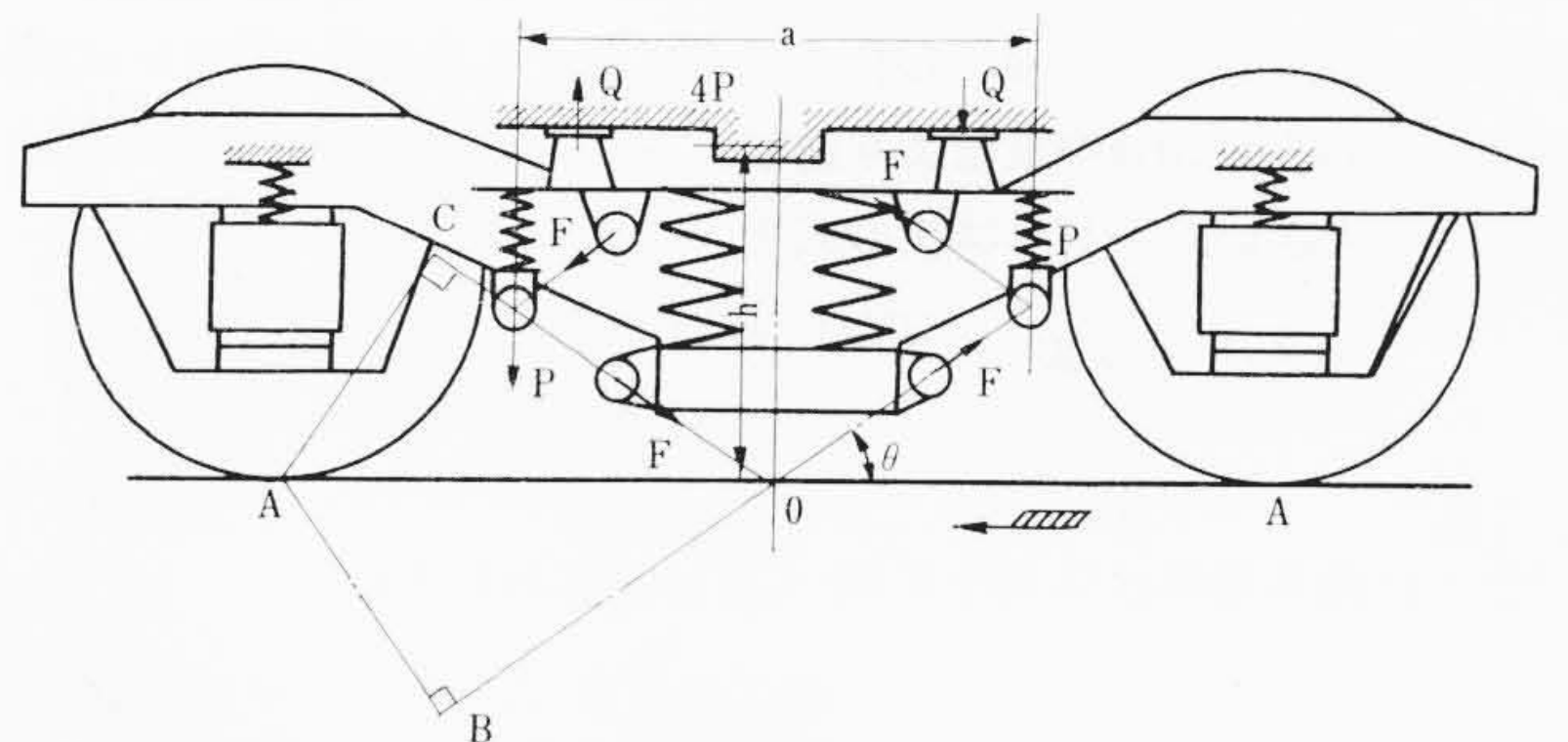
しかるにPによる防振ゴム7の撓みを見れば,

$$\triangle AC0 \equiv \triangle AB0$$

なるゆえ

$$\overline{AC} = \overline{AB}$$

よって, $M=0$ となり, 台車には回転モーメントは作用せず, したがって台車内の軸重移動は生じないことになる。実際には防振ゴム7は力Pにより撓みを生じ, 正確には $\triangle AC0 \equiv \triangle AB0$ は成立しないが, これによる残留モーメントは小さく, 実用上無視し得る量とすることができる。(山元)



第 2 図