

半自動溶接における心線送給現象

Study on the Wire Feed Rate of Semi-Automatic Arc Welders

荒谷 雄* Takeshi Araya
宇田川次男* Tsugio Udagawa

従来、プッシュ方式の半自動溶接機を用いて溶接したとき、心線の送り速度は一定であると考えられていたが、本稿で詳細説明するように、実際にはかなり大きな速度変動が生じていることが判明した。この溶接部に供給する心線の変動状態を高速度カメラで撮影することに成功し、その原因の究明に詳細な考察を加えることができたと同時に、この速度変動を生じないようにするための適正方法を見いだすことができた。

この現象の生ずる原因中、最も大きな要因は給電チップにあり、このチップ長さを80mm以上にするか、又は黒鉛10%以上配合の材料を使うことによって、この変動を少なくすることができる。またプル方式又は、トーチ側に定速度特性のモータを持つプッシュ・プル方式の心線送給装置を用いることによりこの変動を防ぐことができる。

1 緒 言

一般に裸心線を用いる半自動溶接機は、スプレイ アーク溶接、ショート アーク溶接、パルス アーク溶接などの溶接法に用いられている。普通これら溶接機の心線送給装置は、心線取付部、アークを出すトーチ部、その間を結ぶおよそ3m長さのコンジット及び心線取付部にある心線送給用モータなどから成り、このモータ速度は多少の負荷変動が生じていても変動しないようになっている。

従来は、半自動アーク溶接法の説明及び現象の解析はすべて溶接アーク部へ送給されてくる心線の速度が一定であると仮定して行なわれてきた。

最近、ショート アーク溶接を行なっている作業員から、「溶接中に心線の送給がスムーズでなく、振動しているようだ」と言う訴えがあった。そこで日立製作所は、半自動溶接機を用いてショート アーク溶接及びパルス アーク溶接を行なうて、アーク部に送給されてくる心線のダイナミックな送給速度を調べた結果、溶接条件によって送給速度は一定でなく、ショート アーク、又はパルス アークの周期で大きく変動していることが判明した。

筆者らは、この現象を解明することは今後の心線送給装置の改良及び種々の溶接特性の検討に大いに役立つものと考え、幾つかの調査を行なったのでその結果について以下に述べる。

2 ショート アーク溶接における心線送給現象

心線の送給速度を測定する方法は種々考えられるが、溶接中のダイナミックな送給速度まで十分測定できなければならないとすると、かなりの困難を伴ってくる。いろいろ検討した結果、以下に述べるように非常に慣性の小さいタコゼネレータの起電力を利用する方法と、心線に強力な照明をあてて溶接中の心線の動きを高速度カメラで撮影する方法とを開発し実験に利用した⁽²⁾⁽⁴⁾。

この現象をタコゼネレータと高速度写真とで同時に観察し、両者から定量的に心線速度を測定した結果は、図1に示すとおりである。高速度写真から測定した速度とタコゼネレータの起電力(400Hz)から測定した速度はほぼ一致しており、且

つ最大速度はおよそ16m/minに達していることが分かった。プッシュ側の平均速度が5m/minであるので、その約3倍も速いことになる。またこの速度変動の周期はショート アーク溶接の周期に一致しており、30ms程度である。また短絡時に

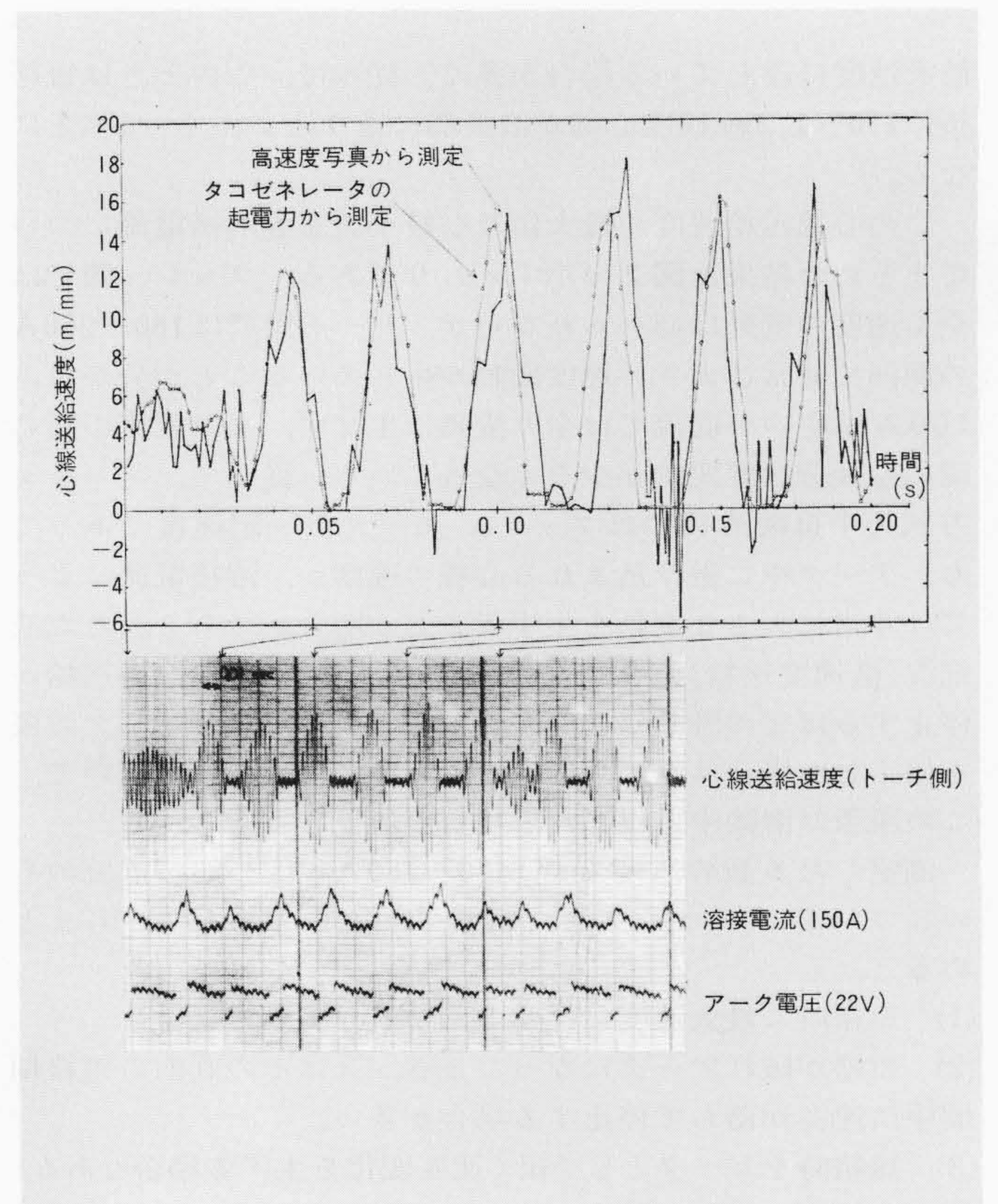


図1 タコゼネレータ、高速度写真から測定した溶接時の心線送給速度及びオシログラム波形 心線の送給速度がショートアーク溶接の周期に一致し、且つその最大速度は平均速度の約3倍にも達していることが分かる。

* 日立製作所機械研究所

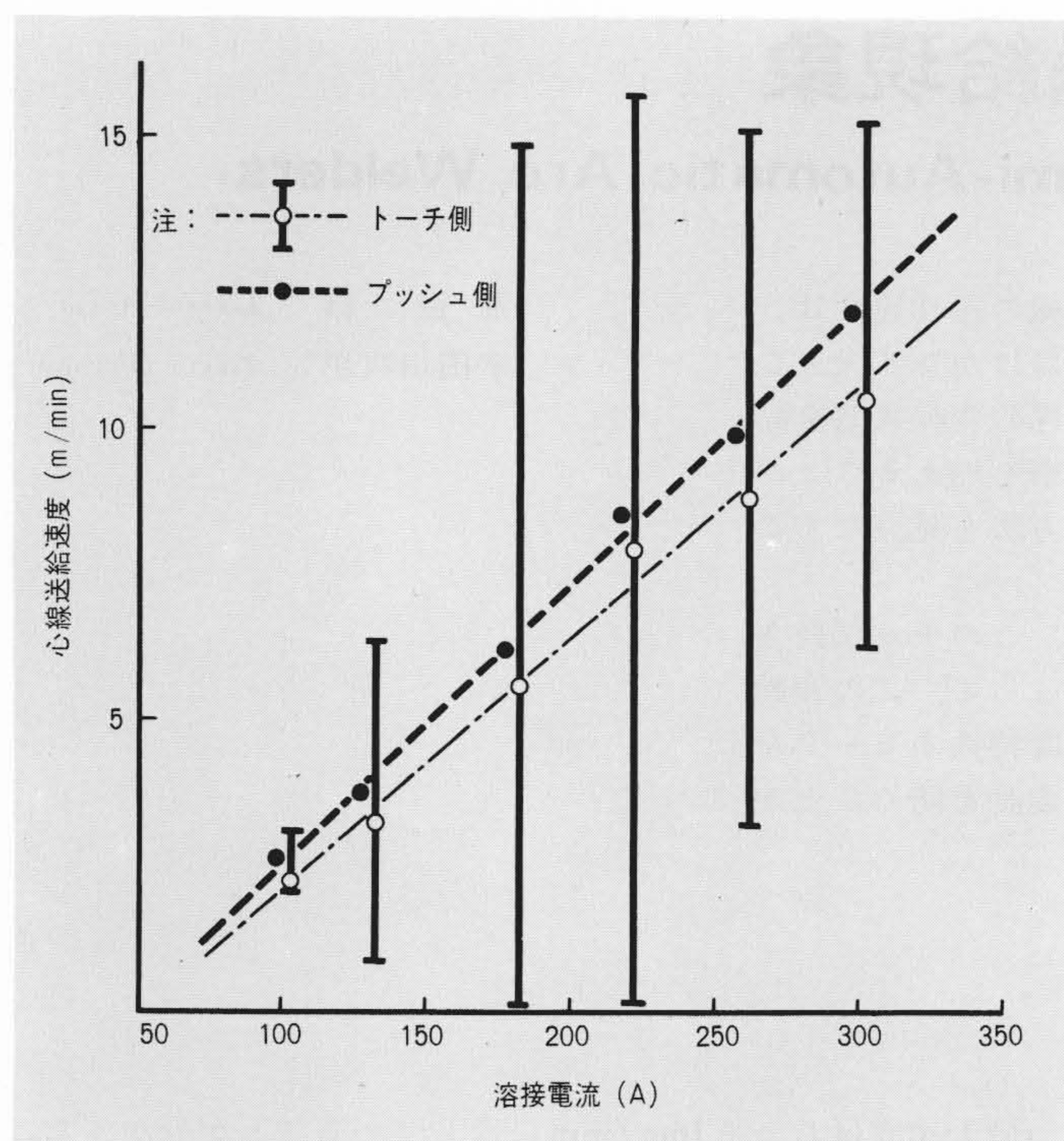


図2 プッシュ式半自動溶接装置を用いて溶接した場合の各溶接電流に対する心線送給速度の変化 ショートアーク溶接でアーク中に送り込まれる心線の速度変化は、180～220 Aの溶接電流で最大に達し、またその前後の電流では幾分小さくなる傾向を示す。

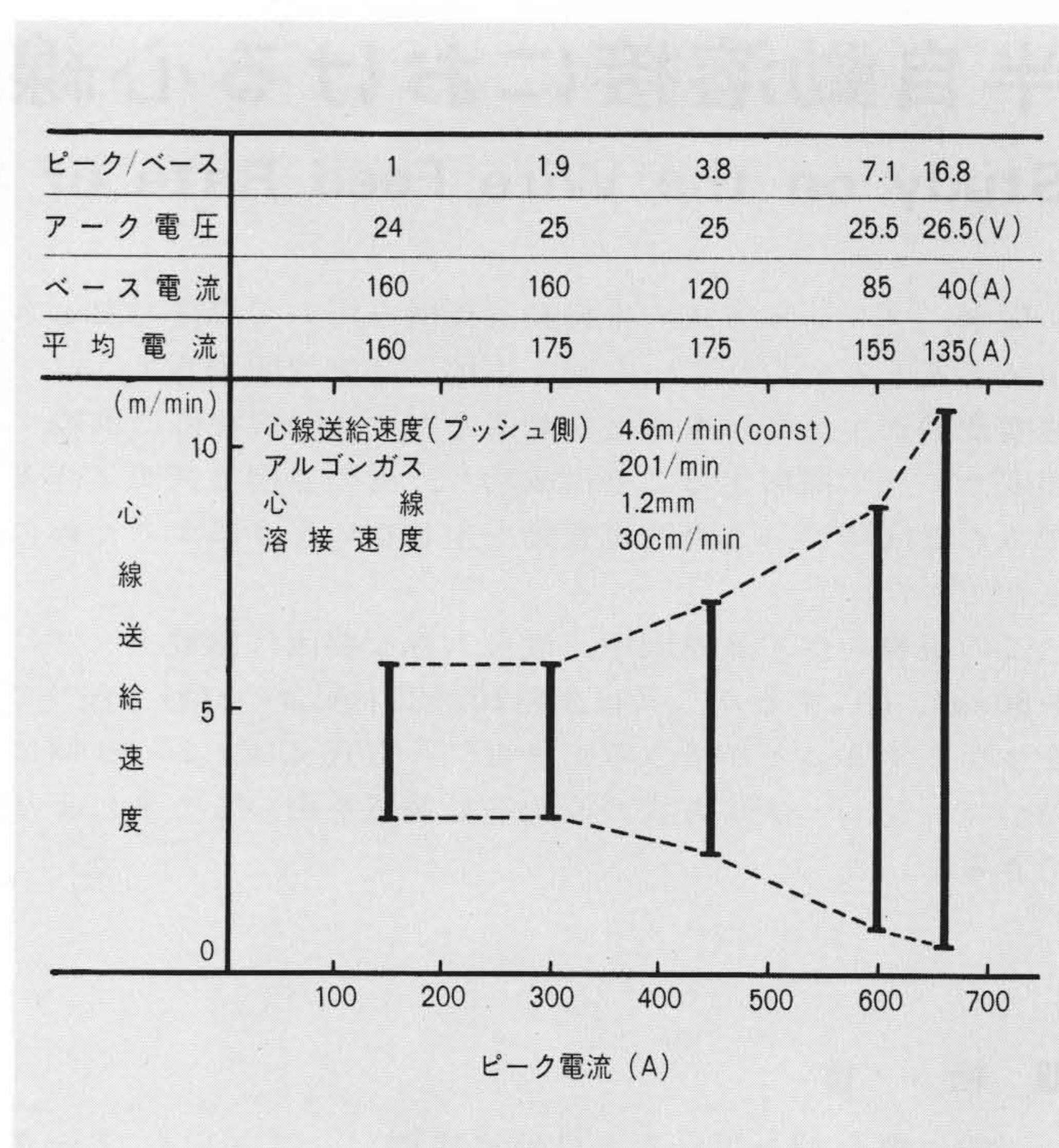


図3 半自動溶接装置を用いてパルス アーク溶接を行なったときの心線送給速度 パルス アーク溶接における心線の送給速度変化はピーク電流がベース電流の7倍以上になると非常に大きくなることが分かる。

最大速度に達している場合が多く、従って、このときは短絡後に1.0～1.2mm程度心線が溶接部に送り込まれていることになる。

この心線送給速度の最大値及び最小値を各溶接電流についてまとめた結果は図2に示すとおりである。プッシュ側では全く速度の変動は認められないが、トーチ側では180～260 Aの範囲で非常に大きい速度変動が生じていることが分かる。100 A程度の小電流では余り変動は生ぜず、また電流の高い側でも幾分速度変動が少なくなっている。従って、プッシュ方式の半自動溶接ではプッシュ モータが一定速度であっても、アーク中に送り込まれる心線の速度が、溶接電流によっては非常に大きな変動を生ずることが明らかである。ただ低電流(低速度送給)及び高電流(高速度送給)の場合は、送給が停止するほどの激しい速度変動は生じない。なおアーク溶接を停止した場合は、この速度変動は急激に小さくなるので、この現象は溶接中に現われる特有な現象と考えられる。

測定した多数の速度変化(150～180 A程度の溶接電流のものについて)のパターンを分析して頻度の多いものからまとめると、

- (1) 短絡時に最大速度に達する例が最も多い。
 - (2) 短絡が破れアークになったとき、又はその直前の短絡期間中に速度が落ちて停止する場合が多い。
 - (3) 短絡時をピークとして緩く速度変化を生ずる場合もある。
- の3種類の様子が示された。

3 パルス アーク溶接時における心線送給現象

Arガスふんい気中でパルス アーク溶接を行なって、心線の送給速度を調べた結果、心線は母材と短絡することが全くないのに、パルス電流の程度によってもやはり心線の送給速度変動が認められた。この変動する周期は、パルスをかける

周期と一致している。心線の送給速度及びアーク長を一定にして、パルス電流をどんどん大きくしていった場合の心線の送給速度を調べた結果は、図3に示すとおりである。アーク電圧(平均電圧)は幾分ピーク電流の上昇とともに増大しているが、これはパルス電圧のために平均電圧が上昇したものである。同図から明らかなように、ベース電流に対してピーク電流が7倍以上になると、速度変動が非常に大きくなっていることが認められる。

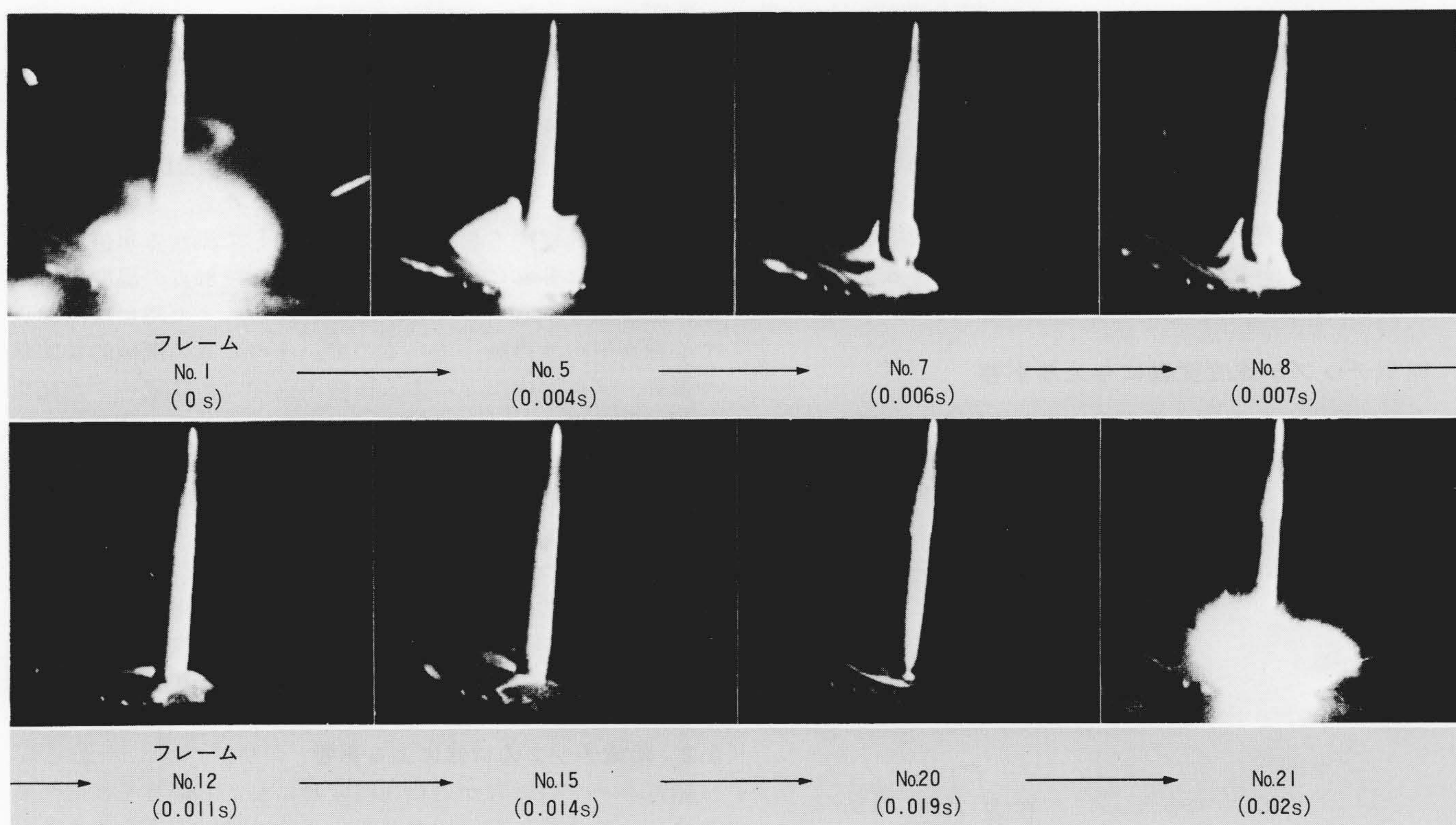
4 心線送給現象の分析

この心線の送給が、停止したり、動いたりする変動状態を高速度写真などを利用して詳細に考察すると、次に述べるような三つの現象が考えられる。

4.1 心線と母材の衝突による送給停止現象

高速度写真を通して観察すると、心線が母材面に衝突して送給が停止している状態が見られる。図4は、この様子の一例を示すものである。この現象をやや詳しく次に述べる。

大きく波打った溶融金属がビード側に寄っているときに心線の先端がアークを出しながら接近し、且つその速度がだんだん速くなっていく(図4写真No. 1, No. 5)。この状態で溶融金属の表面に心線が接触して短絡が始まると送給速度が最大に達し(同図写真No. 7)、続いて心線は溶融金属中にもぐり込むようにして送り込まれ(同図写真No. 8, No. 12)、ついには母材の固い面に衝突して停止してしまう(同図写真No. 15, No. 20)。このとき、心線は短絡してから1.0～1.2mm程度送り込まれている。次にこの送給が停止している状態で心線が溶融して再びアークが発生する(同図写真No. 21)。このとき溶融金属はアークのほうに寄ってきており、再びビード側に移動するころに心線も動き出し同様現象が再び繰り返される。これら種々の写真を観察すると、この速度変動は前述した現



注：撮影速度1,000コマ/秒，溶接電流150 A，アーク電圧22 V，心線径1.2 mm

図4 プッシュ方式心線送給装置を用いてショート アーク溶接した場合の溶接アーク及び心線送給現象の高速写真 短絡移行が始まってから心線が溶融金属中に押し込まれて母材面にぶつかっていく様子(No. 12~20)が示されている。

象を正確に繰り返しているわけではなく，送給が停止する時期が，短絡が破れてアークが発生する瞬間に一致する場合もある。

4.2 給電チップと心線の融着による送給停止現象

給電チップと心線との接触点は一般に溶接中に変化しており，またその給電面積(接触面積)も余り大きくない。一方，CO₂溶接において，短絡時には電流は電源の時定数に応じた速さで増大し，短絡が破れるころには平均電流の数倍にも達している。従って，給電チップと心線の接触点で流れる電流の単位接触面積当たりの大きさは数倍にも達し，そのために瞬間的な融着現象が生じ，心線の送給抵抗が増大して送給が遅くなり，はなはだしい場合には停止してしまうことが十分考えられる。

またこの現象は，パルス アーク溶接で，ベース電流に対してパルス電流を大きくしていくと，しだいに速度変動が大きくなっていくことから十分その可能性が考えられる。

しかし実験に供した心線については，表面外観上なんら変化が認められなかったので，さほど激しい融着現象は生じていないと考えられるが，詳細は今後の実験により究明されなければならない。

4.3 機械的要素による送給変化現象

心線を保護しているコンジット内のスプリング ライナ及びトーチ部のカーブド ガイドとの摩擦力は一定でなく，特に心線停止時の静的摩擦力と心線送給時の動的摩擦力との差による影響も考えられる。また心線径とライナ，カーブド ガイドの内径との差のために，心線がサイン カーブ状にうねった形で送給され，これが直線状になると，縦方向(長手方向)の振動も生じてくる。図5は，このうねりが生ずる参考例として，コンジット内の送給抵抗が増大したために軽い座屈を生じて

送給された心線(0.9 mmφ)の外観を示すものである。このときの周期は40 mm，振幅は1.9 mmである。またこのうねった心線が，3 m長さのコンジットを通して送給された場合に，真すぐに送られる心線に比較して心線長さにどの程度の相違が生ずるかを計算してみた結果，波打って送給された心線の長さLは次式で表わされた⁽⁵⁾。

$$L = l \sqrt{1 + (\pi\omega/d)^2} \left\{ 1 - \left(\frac{1}{2} \right)^2 K^2 - \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} \right)^2 \frac{K^4}{3} - \dots - \left(\frac{(2r-1)!!}{(2r)!!} \right)^2 \frac{K^{2r}}{2r-1} - \dots \right\}$$

ここに， $K = 1 / \sqrt{1 + (d/\pi\omega)^2}$

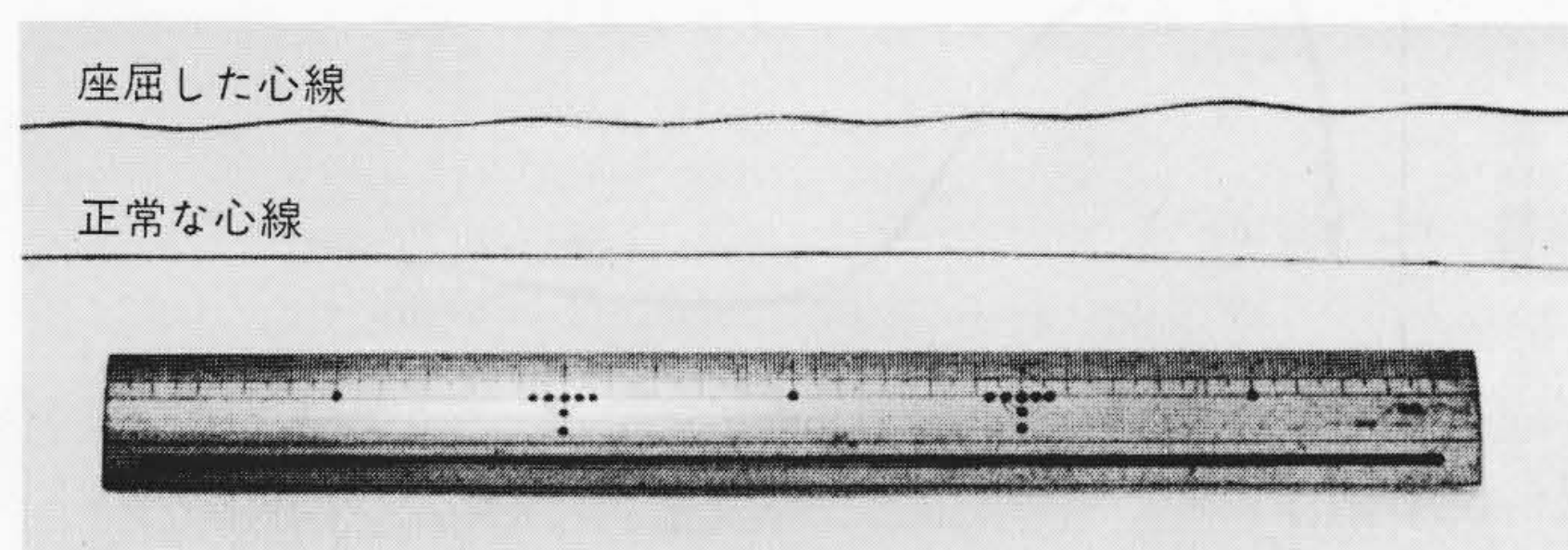
l : コンジット長さ(mm)

ω : 波打った心線の振幅(mm)

d : 波打った心線の周期(mm)

いま心線が図5のように波打ったとすると，

$$L \approx 3,017 \text{ mm}$$



注：心線：軟鋼0.9 mmφ

図5 給電チップから出てきた正常な心線及び座屈を生じた心線の外観 正常な心線に比較して送給抵抗が大きいと，心線が波打った状態で送給される。

となる。従って、心線は真っすぐな場合に比べて約17mm長くなり、この長さの相違が溶接中に繰り返されると、当然溶接アーク及び溶接結果に悪影響を与えることが予想される。

しかしアークを出していない場合は、送給が停止するような激しい現象は生じていないので、機械的抵抗力は心線の送給を停止するほどの影響は与えておらず、スプリングライナの材質、又は心線径とライナ内径との比が、溶接中に生じたなんらかのきっかけによって、その変動を助長するような効果をもっているものと考えられる。

5 給電チップが速度変動に与える影響

以上の結果から心線送給速度の生ずる原因として様々の要因が考えられるが、種々検討の結果、4.2で説明した「給電チップと心線の融着による停止現象」の場合と4.3の「機械的要素(抵抗力)による送給変化現象」の場合とが組み合わさって生ずる可能性が強いと考えられた。従って、以下に各種形状、材質の給電チップを試作し、速度変動に与える影響を調べた。

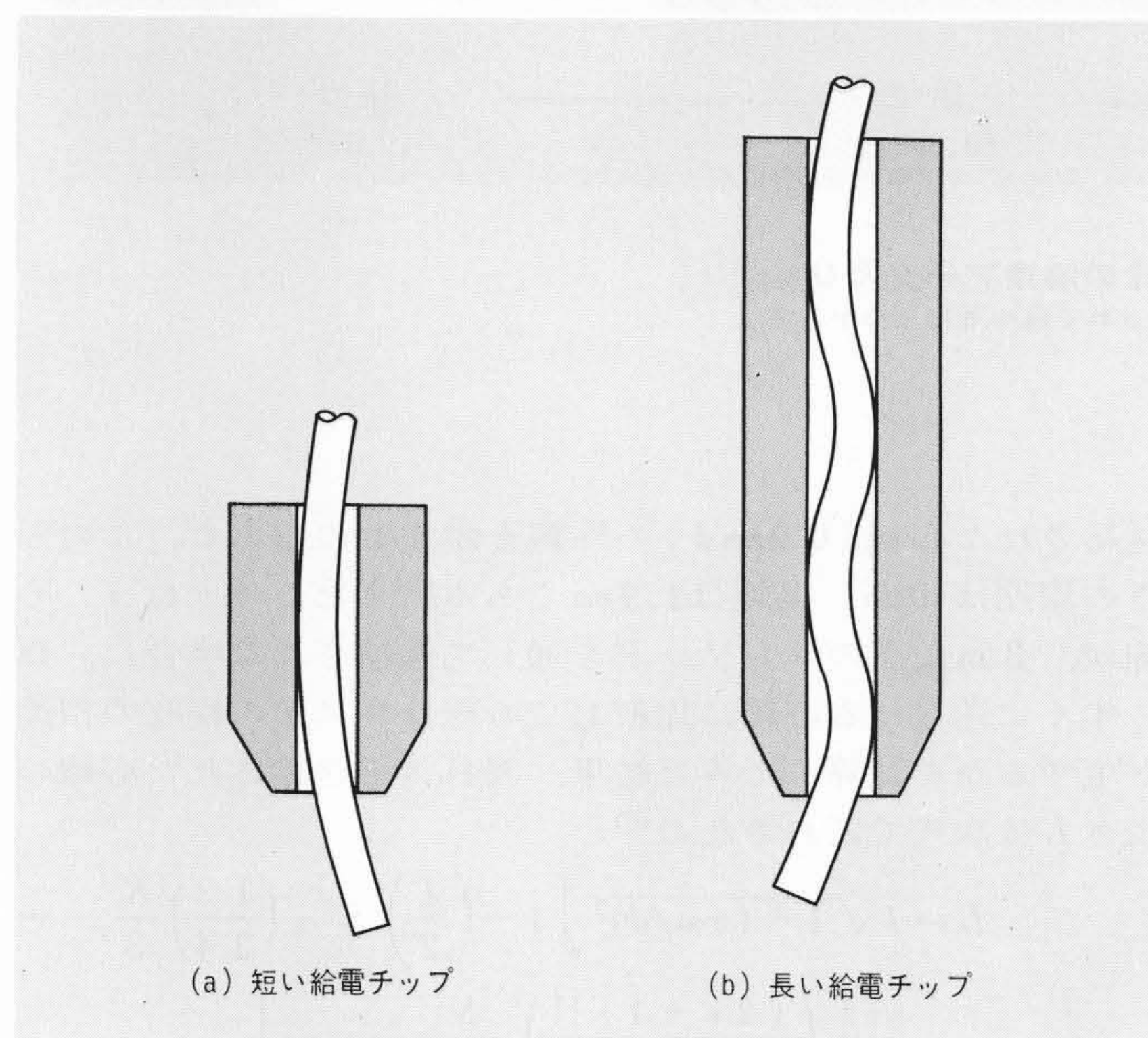


図6 給電チップ内心線送給状態 給電チップの長さの違いによって、心線の接触点の数が変わることが分かる。

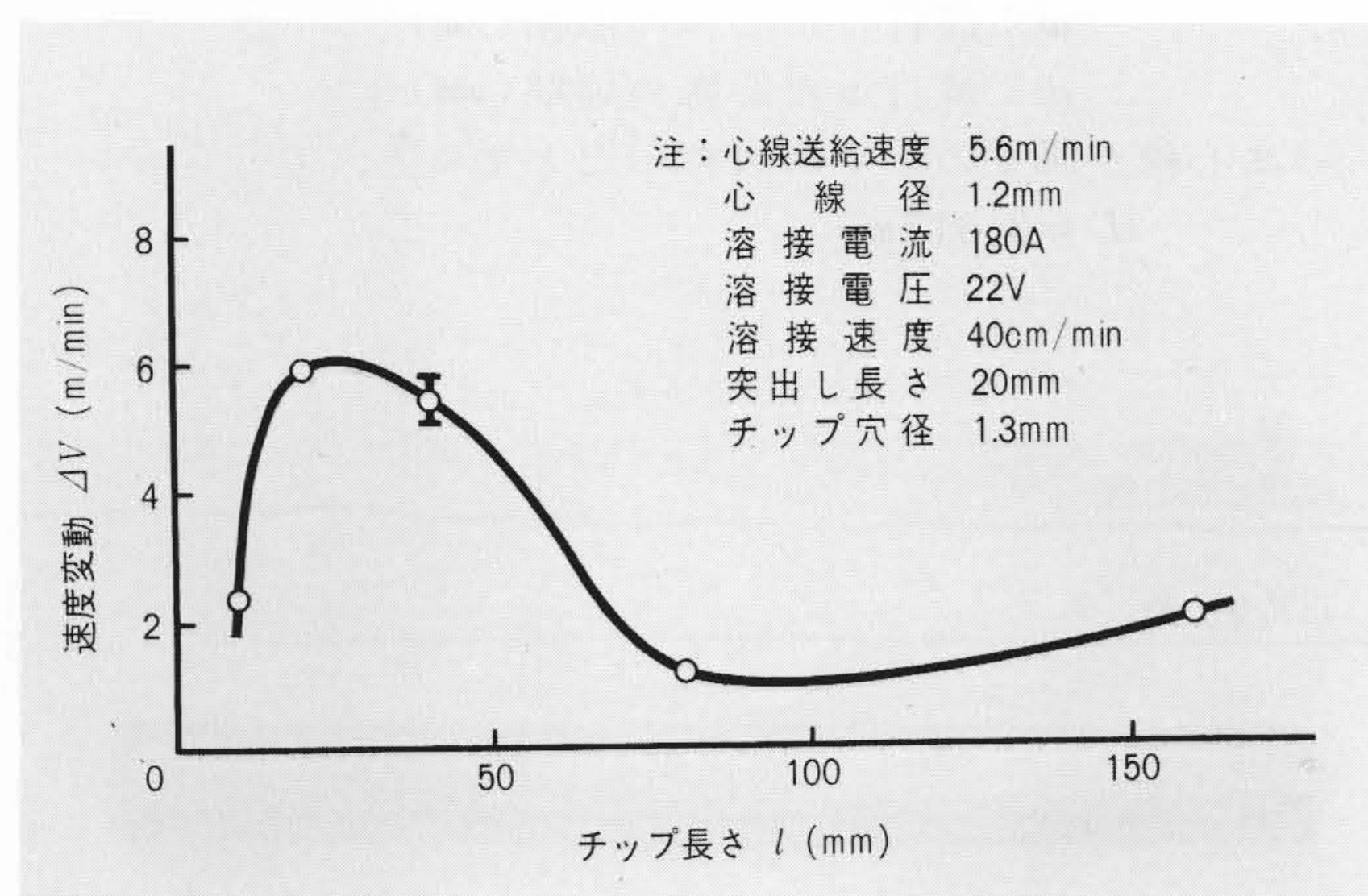


図7 給電チップ長さ(材質:純銅)が心線送給速度変動に与える影響 給電チップの長さが20~40mmでは速度変動が大きく、一方、この長さを非常に短くするか、長くすることによって速度変動が小さくなることが分かる。

5.1 給電チップ長さによる影響

心線が給電チップ内を送給されるとき様子は図6に示すとおり、心線は真っすぐになることなく、曲線状で凸状になった部分がチップの内面を接触しつつ移動している。従って、給電チップが短い場合には接触点が多くなく(図6(a))、長い場合には同図(b)に示すように接触点が多くなる。この前者の状態で電流を通電する場合、接触点を通して流れる単位面積当たりの電流は非常に高くなり、そのため接触点の温度が上昇し、溶融して融着することが考えられる。また時には接触点で心線が滑べり移動しているので、そのときの機械的な衝撃や振動、又は塵埃などによる接触不良のためにアークが発生することも考えられる。従って給電チップが長く図6(b)のように接触点の数が増すと、一接触点当たりには流れる電流は小さくなり、また接触もより確実になるので温度上昇の程度は小さく、またアークが飛ぶ可能性も少なくなる。

種々の長さの給電チップを試作し、送給速度変動に与える影響を調べた結果、図7に示すような結果が得られた。現在市販されている給電チップの通電長さは40mmであり、これより短い20mm長さまでは非常に速度変動が大きいという結果が示されている。

5.2 給電チップの材質による影響

給電チップの材質が送給速度変動に与える影響を検討するために、ここでは電気伝導度を大きく、熱伝導度を大きく、且つ溶融温度を高くするために、黒鉛と銅とを主体にした焼結金属の給電チップを試作し送給試験を行なった。

その結果、図8に示すように銅に配合した黒鉛の量が増加するに従って、送給速度変動が小さくなる傾向が示された。しかし、黒鉛を15%以上配合したものは非常に材質が軟らかく、摩耗が早いので実用性には問題がある。

以上より、給電チップにおける給電時の焼付のために大きな速度変動を生じ、また適正な材質または形状を設計することにより、この速度変動を大幅に軽減できることが分かる。

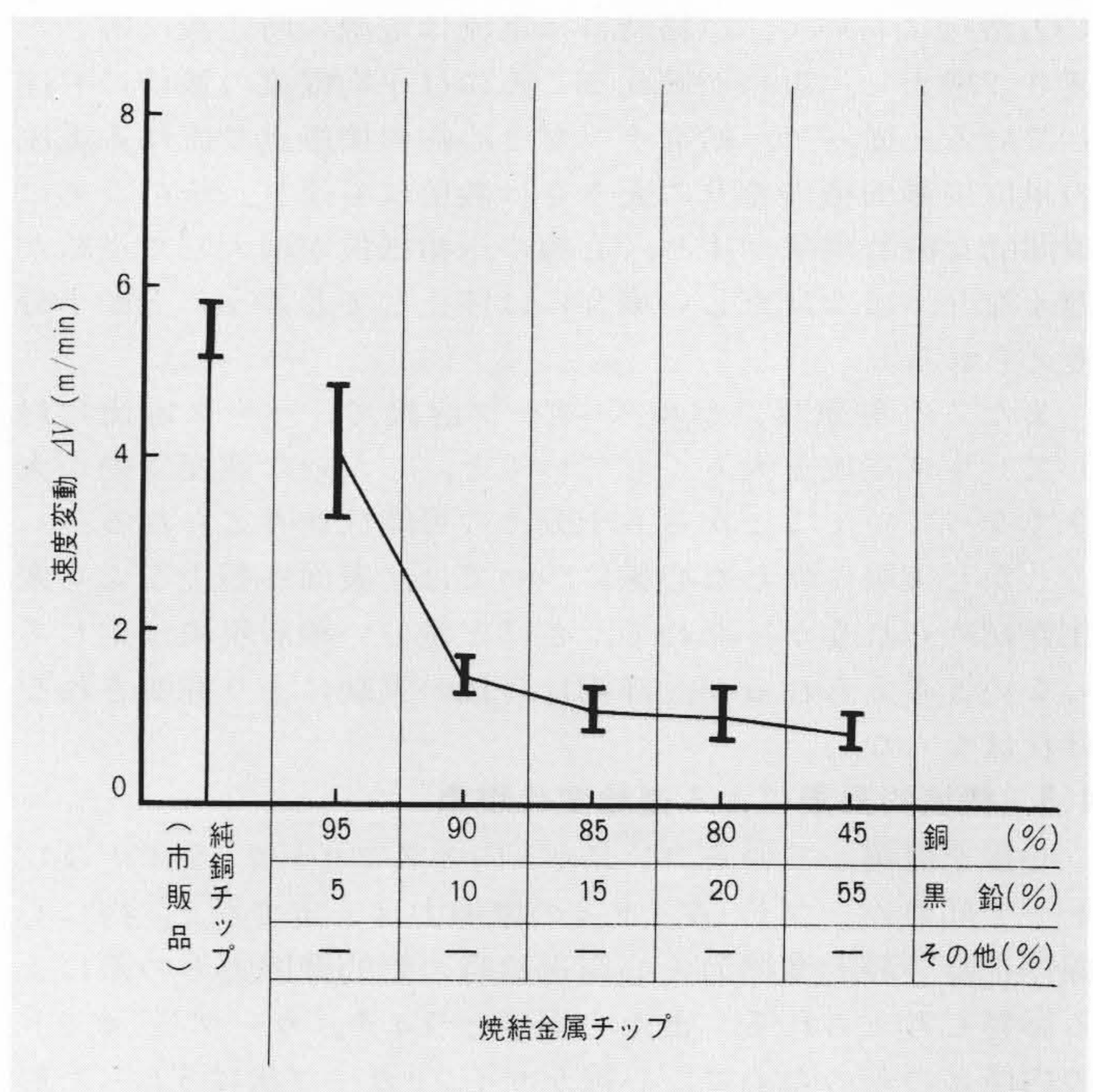


図8 給電チップの材質が心線送給速度変動に与える影響 給電チップに焼結金属を用い、黒鉛の配合量を増していくと(10%以上)、焼付き現象が生じにくくなり、速度変動が小さくなっていくことが分かる。

6 心線送給方式が速度変動に与える影響

以上では主に現象を主体にして検討を行ってきたが、次に送給装置の面から少しく検討してみる。

プッシュ方式の半自動溶接装置では、前述したような現象を避けることは困難であるが、プル方式の装置ではこの現象は全く生じない。これはトーチ部にある定速度モータで心線をアーク中に送給するため当然のことと考えられる。

一方、プッシュ・プル方式の装置を用いた場合は、この送給モータの構成いかんによって、速度変動が生ずる場合と生じない場合とが認められた。

プッシュ・プル方式の装置に使用されているモータの組合せには一般に次の2方式がある。

- (1) プッシュ側に定トルク特性のモータを、プル側に定速度特性のモータを用いる。
- (2) プッシュ側に定速度特性のモータを、プル側に定トルク特性のモータを用いる。

一般的には(2)のほうが入部に入るモータを小形、軽量にできるのでこの組合せがよく用いられている。

図9は(1)の組合せをもつ試作装置で溶接を行なったときの測定結果である。溶接電流は180Aでコンジットは10m長ものを真っすぐな状態で測定を行なった。プル側のワイヤの送給速度、すなわち溶接アーク中に供給されるワイヤの速度は極めて安定しており、溶接電流、アーク電圧も安定していることが分かる。

図10は(2)の組合せをもつ市販のプッシュ・プル装置で溶接したときの結果を示すものである。使用したコンジット、溶接条

件は(1)の場合と同一である。同図から明らかなようにプルワイヤの送給速度変化は大きく、時々ワイヤ送給が停止している状態も認められる。そのためアークは不安定となり、時々アークが消え、オシログラム波形に無負荷電圧が記録されている。

以上の結果から、安定な心線送給特性をもつ半自動溶接装置としては、プル方式又はトーチ側に定速度特性のモータをもったプッシュ・プル方式の心線送給装置を用いるのがよいことが分かる。

7 速度変動が溶接結果に与える影響

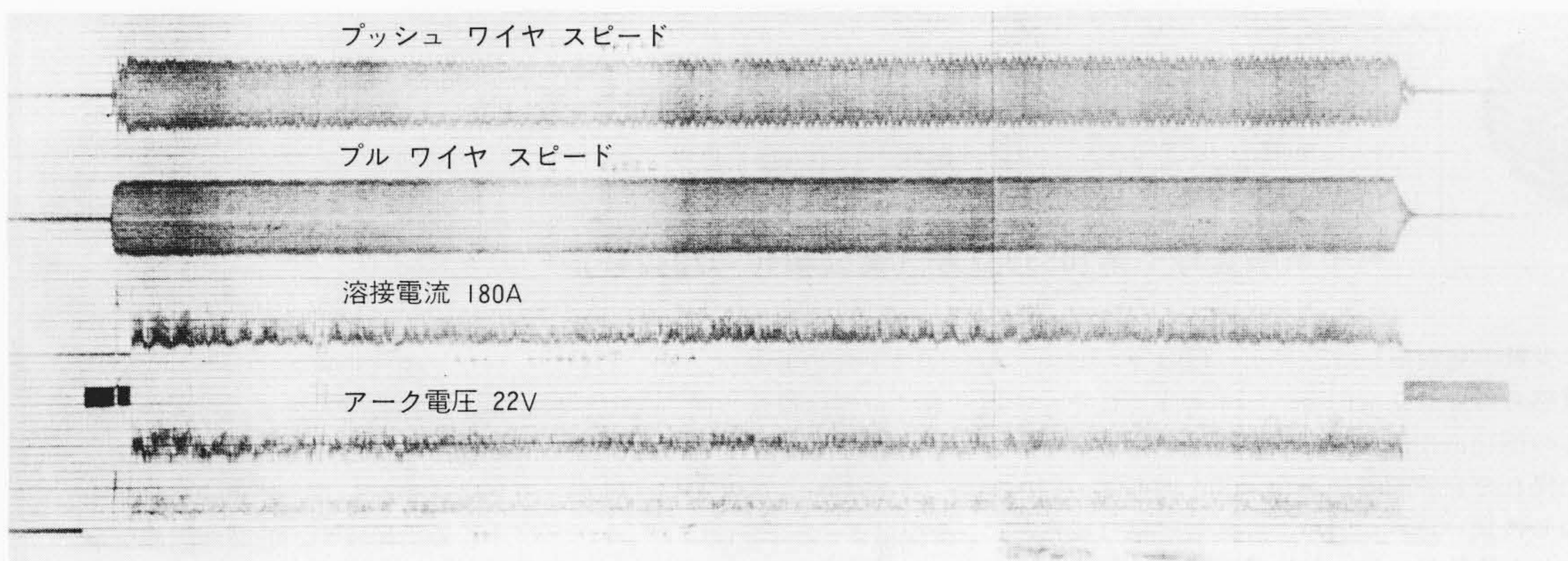
プッシュ方式で心線を送給して、ショートアーク溶接を行なって速度変動が生じた場合と、同送給モータをコンジットとカーブドガイドとの間に取り付けプル方式で心線を定速度送給した場合との溶接結果に与える違いを比較した結果、次に示すような幾つかの相違が認められた。

7.1 短絡移行回数

短絡移行回数は、速度変動が大きいと移行回数が少なくなる。この原因としては、速度変化が大きいときは、短絡時に送給速度が最大になり、その後比較的冷たい心線が溶融金属中に押し込まれるために短絡時間が長くなり(最大電流も高くなる)、更にアークになってからは心線の送給が停止しているので比較的アーク時間が長くなり、結果的に短絡周期が長くなったものと考えられる。

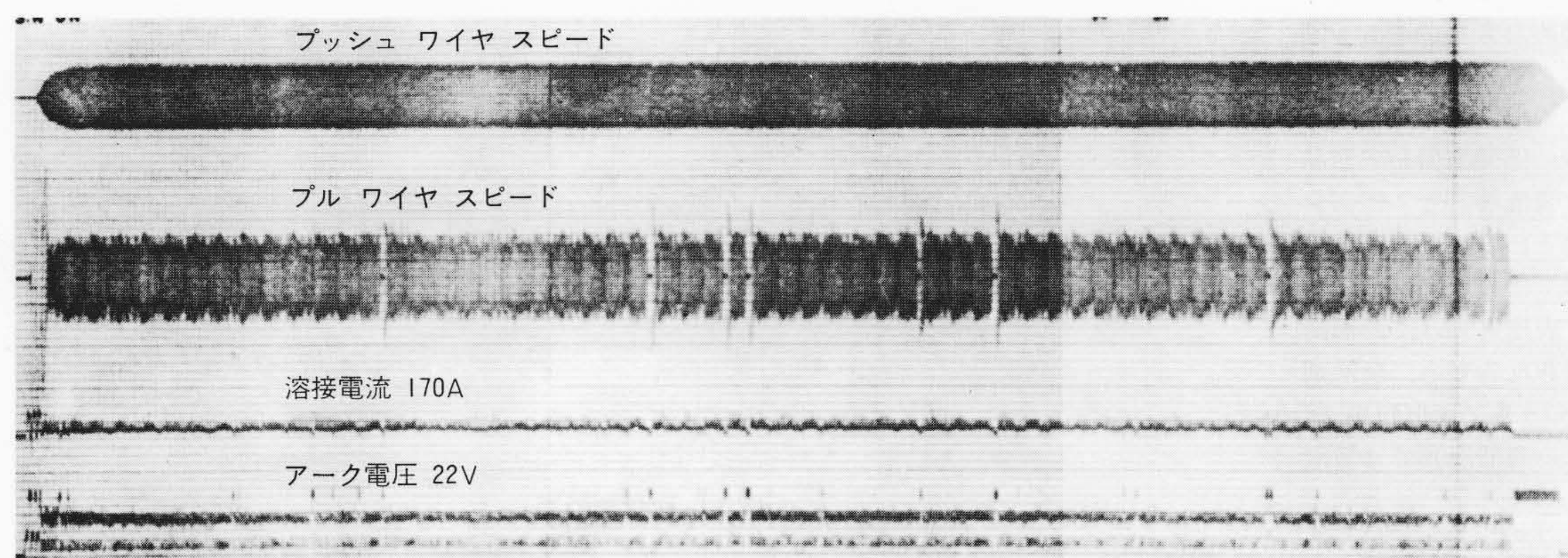
7.2 ビード外観及び断面形状

ビード外観は速度変動が生じてても余り変わらないが、ビードと母材との境界部分にひだ状の溶着金属が認められた。断面形状は図11に示すように、溶け込み深さ及びビード高さは



注：プッシュモータ：定トルク特性，プルモータ：定速度特性

図9 プッシュ・プル方式送給装置(1)による送給速度特性 プルモータに定速度特性のモータを用いることにより、アーク中に送給される心線の速度は一定で、且つ溶接電流、アーク電圧も安定していることが分かる。



注：プッシュモータ：定速度特性，プルモータ：定トルク特性

図10 プッシュ・プル方式送給装置(2)による送給速度特性 プルモータに定トルク特性のモータを用いると、アーク中に送給される心線の速度に変動が生じ、そのために、アーク電圧波形より時々アーク切れを生じていることが分かる。

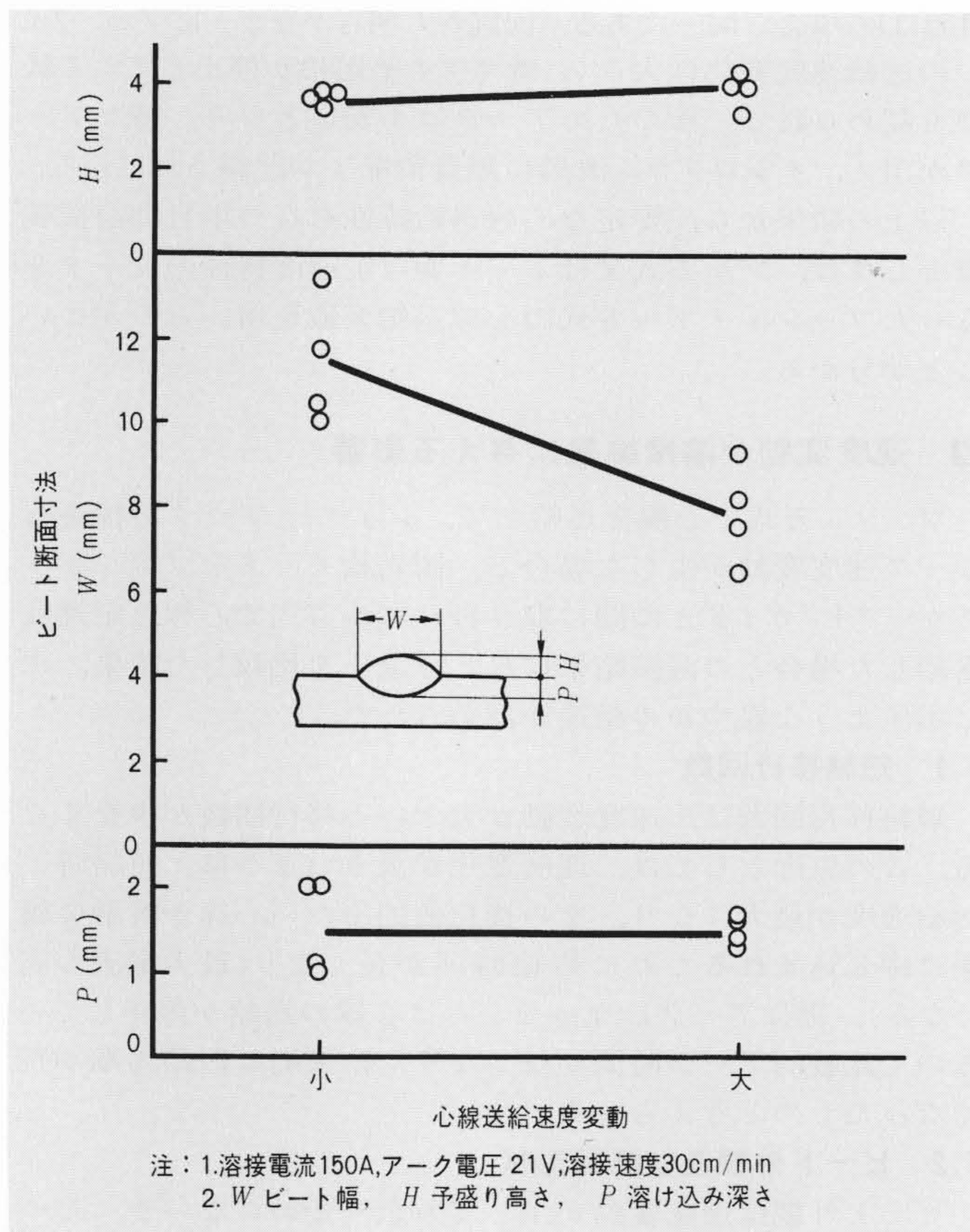


図11 心線送給速度変動の程度とビード断面形状との関係 ビード断面形状は、速度変動が大きいとビード幅が狭くなり、凸状になることが分かる。

余り変わらないが、速度変動が大きいとビード幅が幾分狭くなって、凸状ビードの様子を示す。

8 結 言

以上の結果を要約すると次のようになる。

- (1) ショート アーク溶接及びパルス アーク溶接を行なうに当たって、プッシュ方式半自動溶接機を用いるとアーク中に供給される心線の送給速度は大きく変動する。
- (2) 速度変動は結電チップの設計方法、心線送給方式の検討により、低減することができる。
- (3) 溶接結果に与える影響は著しいものではないが、ショート アーク溶接の短絡移行回数やビード断面形状が異なってくる。

終わりに臨み本稿について種々御検討をいただいた溶接学会の溶接アーク物理研究委員会並びに国際溶接学会(IIW)第12委員会の関係各位に対し深謝の意を表わす次第である。

参考文献

- (1) K. W. Brown, "Wire Drive Mechanisms", M. C. & British Welding J., July (1964), pp. 581~585
- (2) 荒谷, 宇田川「半自動溶接における心線送給現象について」第24回アーク物理委員会, 71-144('71)
- (3) 荒谷, 宇田川「半自動溶接における心線送給現象について」溶接学会講演会概要集, 第9集('71)
- (4) T. Araya, T. Udagawa, "A Study on Wire Feed Rate of Semi-Automatic Arc Welders" IIW. Doc. XII-B-102-72, XII-F-131-72
- (5) 荒谷「半自動溶接の心線送給装置に関する諸問題」溶接学会誌, Vol. 41, No. 9('72), pp. 43~51



低発泡樹脂成形品

梶崎 徹

実用新案登録 第1083997号 (実公昭46-7342号)

熱可塑性樹脂材料に少量の発泡剤を加え、射出成形すると、木質感のある低発泡樹脂成形品が得られる。この低発泡樹脂成形品は量産性に富み、また優れた意匠的価値をもつが、タッピングねじの食い込みが弱いという難点があり、これを他物品へ取り付けの際に不便であった。

本考案は、ねじを受け入れる下穴周壁のち密な層を拡張し、これにより、タッピングねじの食い込みを強めたものである。図1はその具体例を示したもので、①が低発泡樹脂成形品、②がその取り付けの相手方となる他の物品である。低発泡樹脂成形品①は密度の高いち密な表皮層⑪とスポンジ状の内部層⑫に層分けされている。このような区別が生ずるのは、次の理由によるものである。すなわち、表皮層⑪は、成形時に、金型の影響で急冷されるため、発泡剤が十分に発泡しきらないうちに固化する。他方、金型と接触しない内部層⑫では発泡剤が十分に発泡する。

③はタッピングねじ④の下穴であるが、本考案ではそれを取り巻く位置に環状の凹所⑤を形成する。このようにすると、下穴③と凹所⑤の間の部分、すなわち、下穴③の周壁部は成形時に、金型によって下穴③、凹所⑤の両方の側から急冷される。このため、周壁部全体が密度の高いち密な構造となり、そこにねじ込まれるタッピングねじ

④をしっかりと受け止める。

一般に表皮層⑪の厚みは2mm程度であるから、本考案によれば、下穴周壁のち密な層をその2倍、すなわち、約4mmに拡張することができる。従って、低発泡樹脂成形品を、タッピングねじを用いた簡便な方法で、他の物品へ堅固に取り付けることが可能となる。

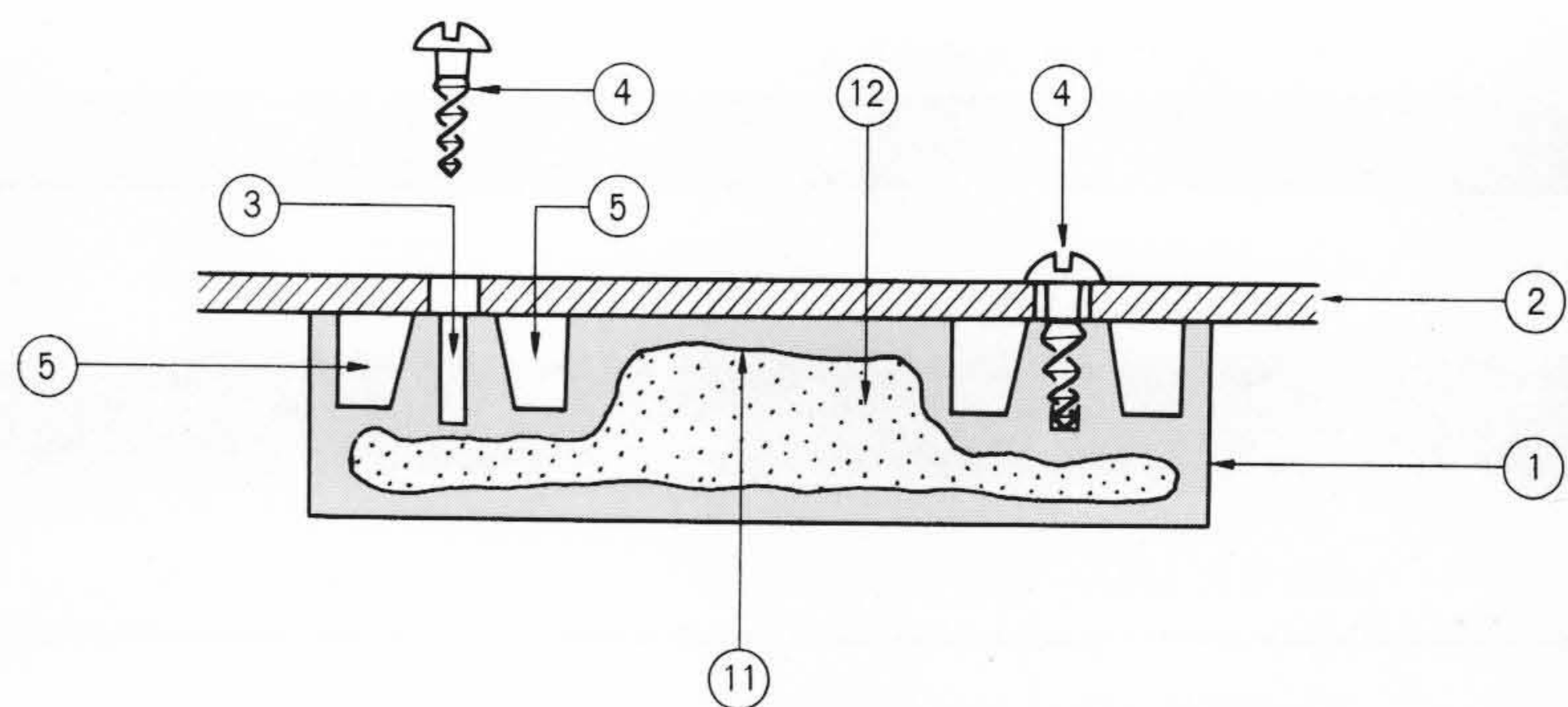


図1 取付部断面