

# X線蛍光増倍管によるアークスポット溶接現象の解析

Analysis of Arc-spot Welding with X-ray Image Intensifier

石 橋 英 治\* 佐 藤 博\*  
Eiji Ishibashi Hiroshi Satô

## 内 容 梗 概

被覆溶接棒を使用するアークスポット溶接時のアーク現象をX線蛍光増倍管を利用して観察し、溶融ナゲットの生成過程を検討することにより操作が非常に簡便なアークスポット溶接装置が完成した。

以下、本溶接装置の概要および溶接過程の観察結果を述べ、標準溶接条件、溶接部の外観強度の関係などの実験結果を示して、本溶接法が薄鋼板の重ね溶接に適していることを述べる。

## 1. 緒 言

車両、建築、容器などには、二枚の薄鋼板を重ねて溶接したり、形鋼に鋼板を重ねて溶接する構造が用いられている。

従来この種の溶接には、一方の鋼板に小孔をあけて溶接するせん溶接や、抵抗溶接機を用いる点溶接が採用されており、最近では炭酸ガスアーク溶接や、イナートガスアーク溶接を利用したミグスポット溶接も使用されはじめた。

しかし、点溶接では抵抗溶接機のふところ寸法に限度があるため、広幅の鋼板には施行が困難で、設備も大規模なものとなる難点があり、ミグスポット溶接も装置が複雑で、機動性に欠けるほどの欠点があって、一般に広く使用されるにはいたっていない。

これに対し被覆溶接棒によるアークスポット溶接は、薄板に穴をあけずに、大電流を流して溶接部を溶融穿孔し、同時に線材の溶融によって、ボタン状の溶着鋼を形成させるもので、簡便に使用できるのが特長である。

アークスポット溶接は比較的短時間で、アーク発生、溶融、溶着鋼の形成、クレータ処理の過程を終わらせる溶接法で、溶接部の外観、強度、欠陥の有無などに影響する要因が多く、溶接は遮へいされた小キャップ内で行なわれるため、アーク現象を直視することができないなど、溶接現象については不明の点が多い。筆者らは、X線蛍光増倍管を用いて、間接的にキャップ内のアーク現象を観察するとともに、日立アーク溶接装置を薄鋼板に使用した場合の強度や標準溶接条件などを検討し、本溶接法を実用する際の一応の適用限度を確かめたので以下に報告する。

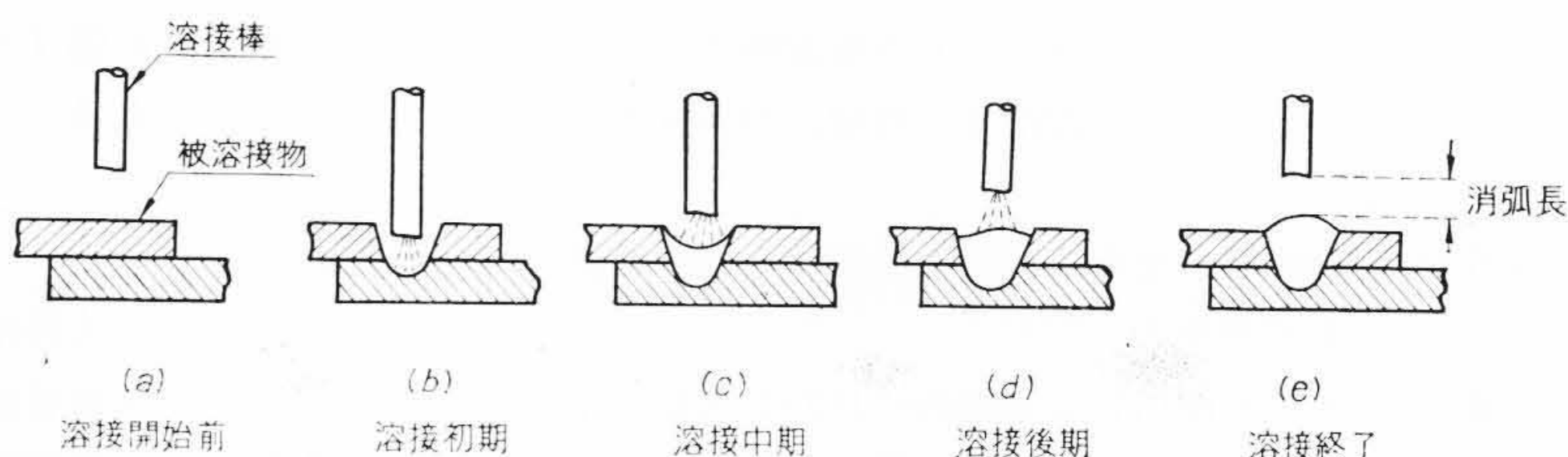
## 2. アークスポット溶接の概要

アークスポット溶接は、被覆溶接棒に大電流を流してアークを発生させ、局部的に生ずるアーク熱によって重ね合わせた2枚の薄鋼板の片側から深いとけ込みを作り、同時に線材を溶融添加して溶着鋼を形成し溶接する方法である。

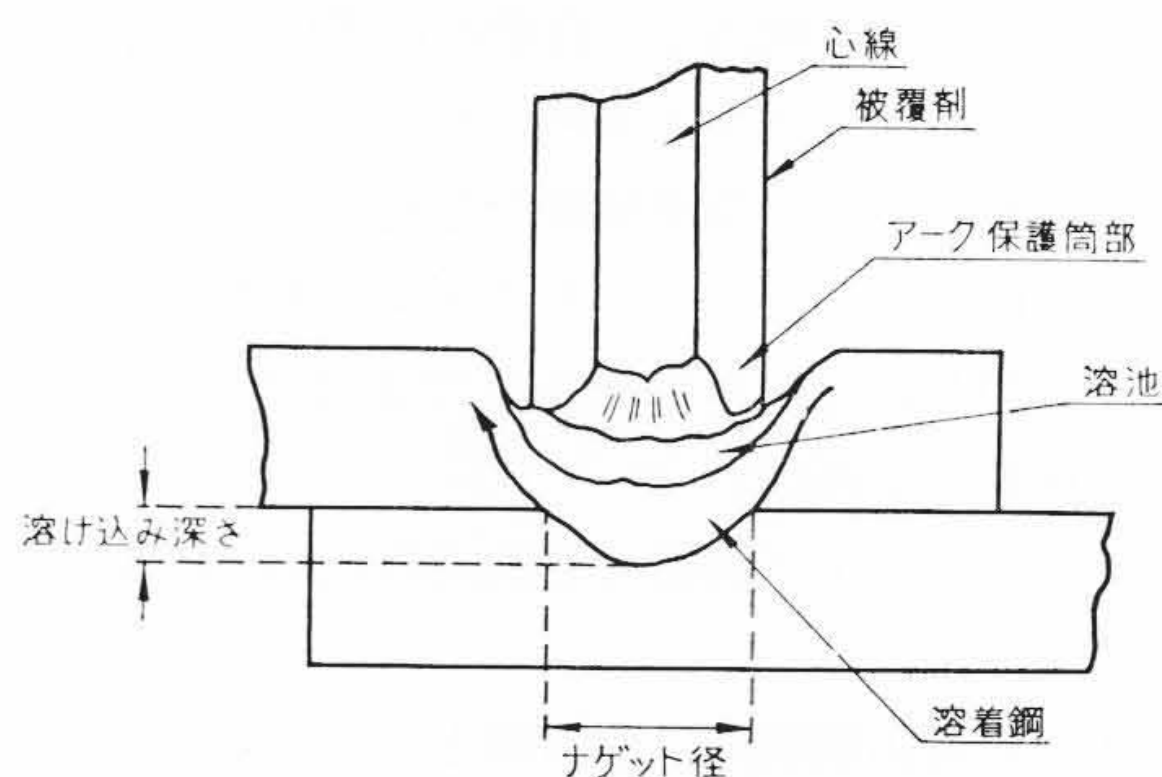
この溶接法は、従来のせん溶接に類似したものであるが、溶接電流を大きくして上側鋼板の穴あけ作業を省略し、溶接を行なうとともに、被覆溶接棒のとけ込み量および溶接時間をほぼ一定に保持することによって、均一な溶接部を得ようとするものである。

第1図は、アークスポット溶接の過程を説明したもので同図(b)で、溶接棒が鋼板に接触すると、大きな短絡電流が流れると同時にアークが発生し、2枚の鋼板を貫いて深いとけ込みができる。(c)では溶接棒は、あらかじめ設定された一定長さがとけ込むまで、適当な圧力で被溶接部に接触しており、溶接アークはこの間第2図のように、被覆溶接棒の先端に生じた保護筒内で、短く維持されている。

\* 日立製作所亀戸工場



第1図 アークスポット溶接の過程



第2図 とけ込みの状況

一定時間経過すると溶接部には(d)のように溶着鋼が形成され、溶接棒も一定長さ溶融し終わるので以後アーク長が次第に長くなり、ほぼ一定の消弧長に達したときにアークが消滅して溶接を終了する。

## 3. アーク・スポット溶接現象の解析

### 3.1 実験装置の概要

溶接アーク現象のは握法としては、従来、対象とするアーク自体よりも輝度の大きい、補助用バック・ライトを併用し、観測に必要な部分を陰影として観測する方法が一般に採用されている<sup>(1)~(8)</sup>。

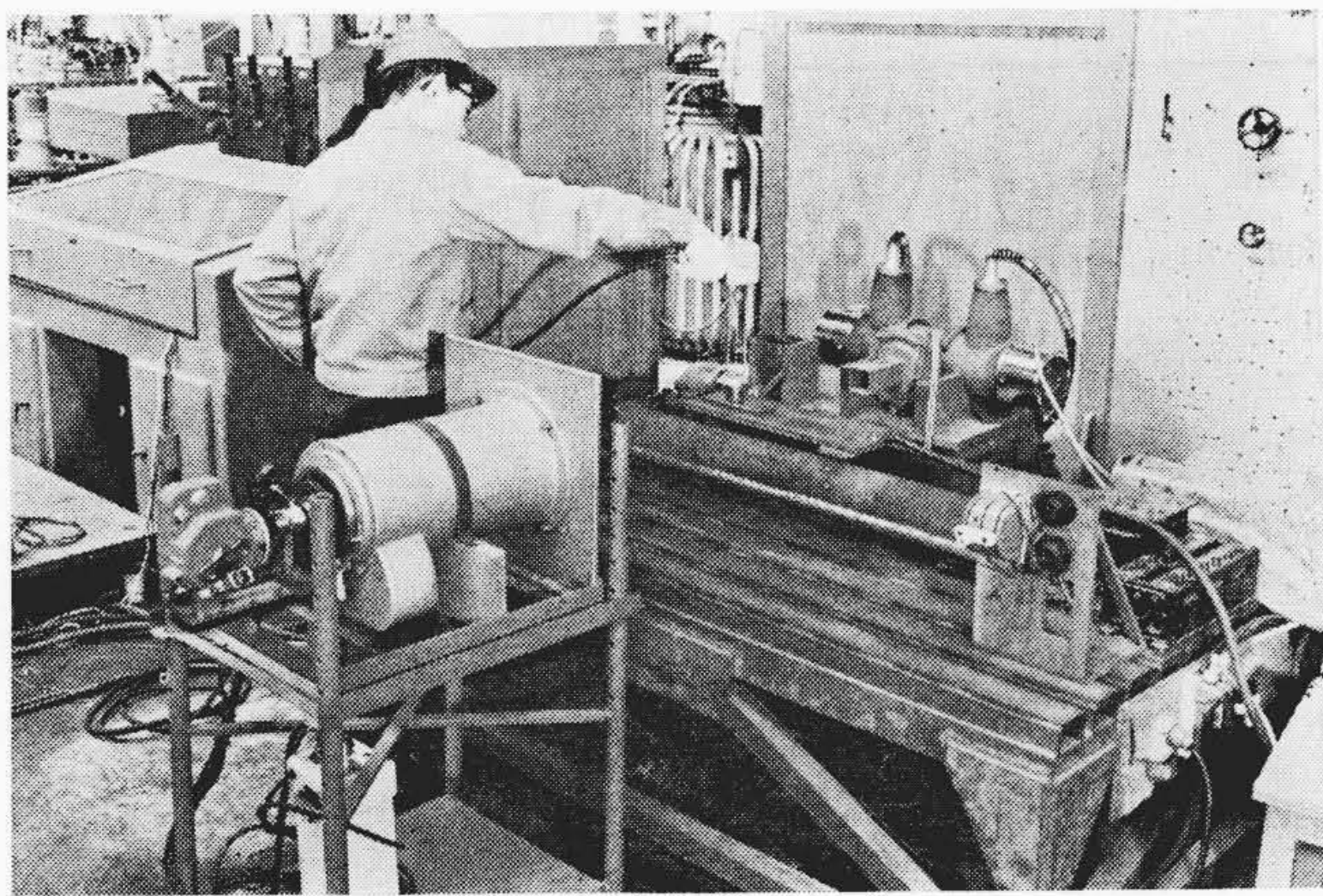
この方法は純光学的な方法であるため、アーク・スポット溶接のような、被包カップ内でのアーク現象の解析には応用できない。

筆者等は、透視像の受像にX線蛍光増倍管 (Image Intensifier, 以下略号 I. I と呼称する) を用いることによって明るいX線透視像が得られることに着目し、X線透視法による解析法を採用した。

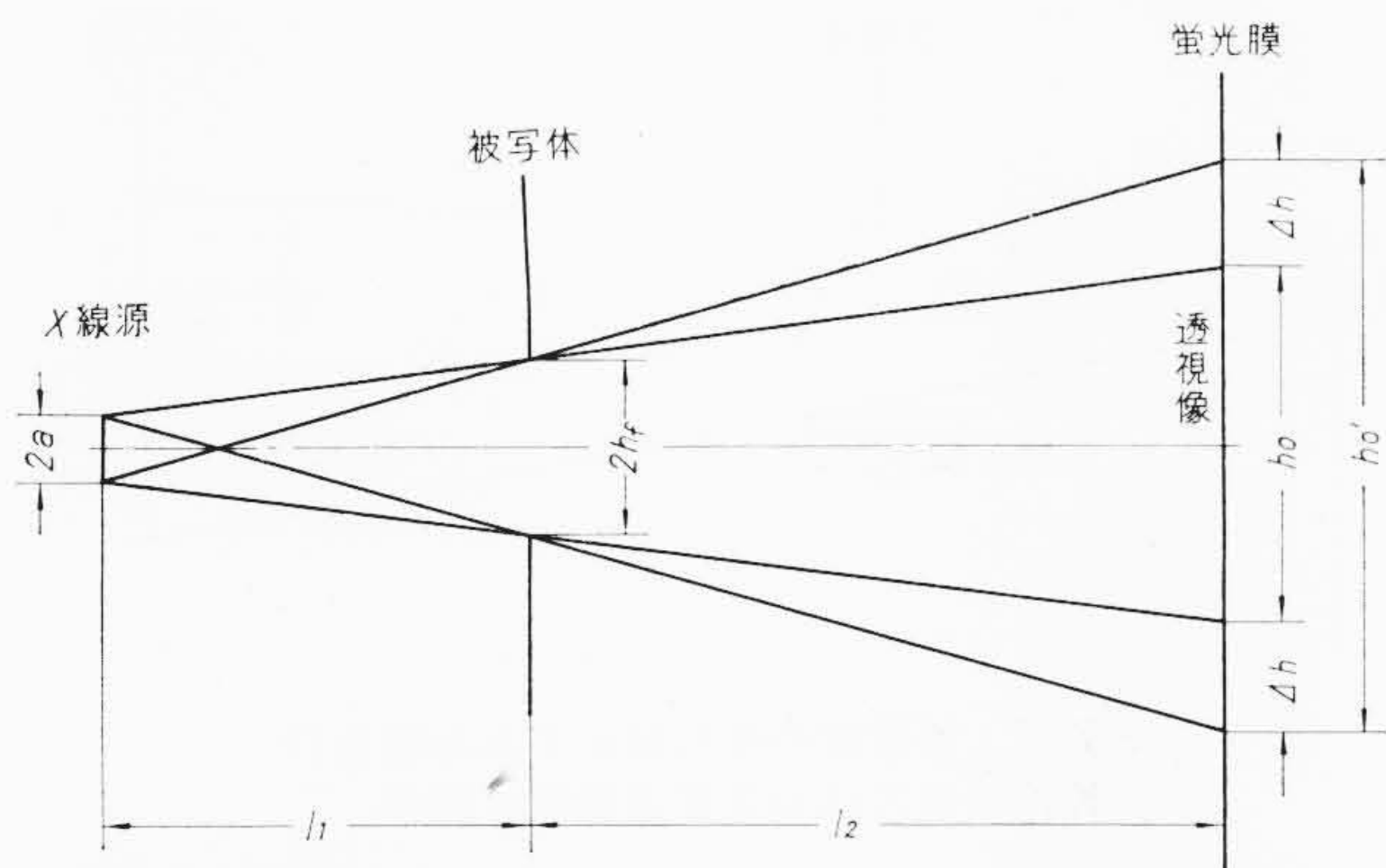
第3図は実験装置の概観写真であって、X線管には日立製作所製の回転陽極形二重点X線管 DOR-503 形を、また、I. I としては日立製作所製のX線蛍光増倍管 HX-5C1 形 (125 mm) のものを用いた。

### 3.2 解析精度検討結果

溶接アーク現象をX線透視法によって観察する場合に、影像の解像精度に影響する要因は、おもにX線焦点に起因するボケ、母材中に起因する誤差および中心軸のずれに起因する誤差の三つが考えられるので、これらについて実験に先だって検討を加えた。



第3図 実験装置の概観



第4図 焦点が有限の大きさを有する場合の被写体と透視像の関係

## 3.2.1 解像力限界値

X線像、被写体および I. I 蛍光膜が第4図の相対関係にある場合、見かけ上の透視線の大きさ、 $h_0$ 、ボケ  $\Delta h$  およびボケを含めた透視像の大きさは、それぞれ次式のように表わせる。

$$h_0 = 2 \left( h_f + \frac{l_2}{l_1} h_f - \frac{l_2}{l_1} a \right) \dots \dots \dots (1)$$

$$\Delta h = 2a \frac{l_2}{l_1} \dots \dots \dots (2)$$

$$h_0' = 2 \left( h_f + \frac{l_2}{l_1} h_f + \frac{l_2}{l_1} a \right) \dots \dots \dots (3)$$

ここに  $2a$ : X線源焦点の径

$2h_f$ : 被写体の大きさ

$l_1$ : X線像と被写体間の距離

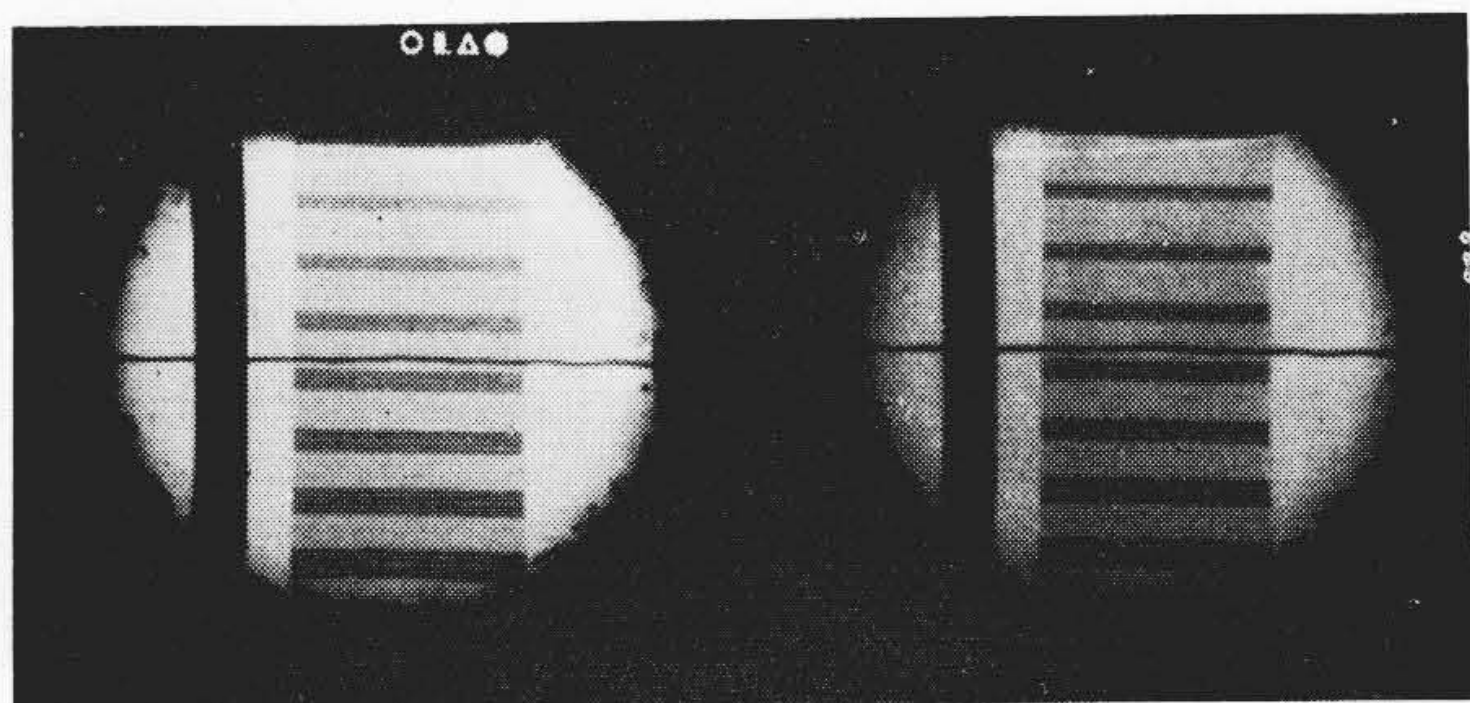
$l_2$ : 被写体と I. I 蛍光膜間の距離

焦点ボケに起因した解像力限界値は、 $\Delta h = (h_0 + h_0')/2$  なる条件で近似的に与えるので、解像しうる被写体の大きさの限界値を  $2h_{f0}$  とおけば(1), (2)式から

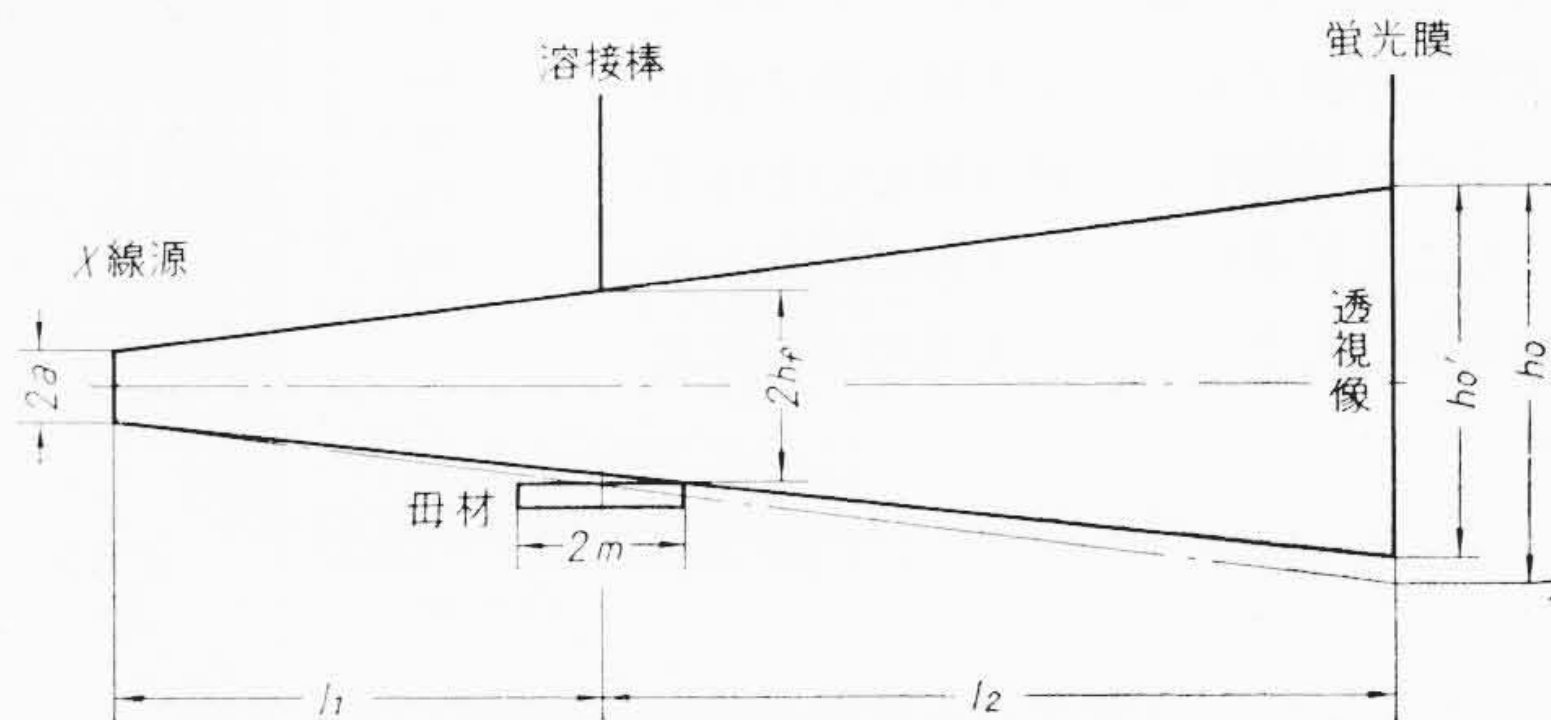
$$2h_{f0} = \frac{2al_2}{l_1 + l_2} \dots \dots \dots (4)$$

(4)式を実験的に確認するため 0.05mm ずつ直径が異なる最小 0.1 mm  $\phi$ 、最大 0.65 mm  $\phi$  の銅線 12 種類をそれぞれの直径に等しい間隔をおいて埋込んだ解像力試験片を用いて解像力試験を行なった。透視像の一例は第5図のとおりであるが、 $2a = 1.5$  mm,  $l_1 = 510$  mm,  $l_2 = 200$  mm の条件下で解像力限界値は 0.45 mm であった。

一方、(4)式からは 0.423 mm という値が得られ、試験片に用いた線間隔は 0.05 mm ずつ太さを変えている点を考慮すれば、実験値と計算値は一致したものと見なすことができ、したがって解



第5図 解像力試験片透視像



第6図 溶接アーク観測時のX線源被写体および透視像の関係

第1表 母材幅と透視像精度の関係

| $m$      | $k_0$     |            |            |            |             |             |
|----------|-----------|------------|------------|------------|-------------|-------------|
|          | $h_f = a$ | $h_f = 2a$ | $h_f = 3a$ | $h_f = 5a$ | $h_f = 10a$ | $h_f = 30a$ |
| $l_1/10$ | 1.000     | 1.031      | 1.038      | 1.042      | 1.045       | 1.047       |
| $l_1/20$ | 1.000     | 1.016      | 1.019      | 1.022      | 1.023       | 1.024       |
| $l_1/30$ | 1.000     | 1.011      | 1.013      | 1.015      | 1.016       | 1.016       |
| $l_1/35$ | 1.000     | 1.009      | 1.011      | 1.013      | 1.013       | 1.014       |
| $l_1/40$ | 1.000     | 1.008      | 1.010      | 1.011      | 1.012       | 1.012       |
| $l_1/45$ | 1.000     | 1.007      | 1.009      | 1.010      | 1.010       | 1.011       |
| $l_1/50$ | 1.000     | 1.007      | 1.008      | 1.009      | 1.009       | 1.010       |

像力限界値は(4)式で検討してさしつかえない。

(4)式から直ちにわかるように、 $2h_{f0}$  を小さく保つのに  $l_1/l_2$  を大にとってもよいが、この方法では像の拡大率が必然的に小さくなるので、X線源焦点の径  $2a$  をできうる限り小さく取ることが好ましい。筆者らの用いた DOR-503 形 X線管の焦点径は、 $2a = 0.3$  mm であり、 $l_1/l_2 = 1$  の使用条件で解像力限界値は約 0.15 mm となるが、これは I. I 蛍光膜の解像限度 0.25 mm より小さくアーク現象の観測に十分な解像力が得られた。

## 3.2.2 母材幅による誤差

実験に当たって溶接棒は、X線透過方向に対して線とみなしてさしつかえないが母材幅はこれを無視し得ない。

第6図のような相対関係の場合、I. I 蛍光膜上に得られる透過像は  $h_0'$  で、これは真の透過像  $h_0$  と異なる。いま母材幅を  $2m$  とし、 $h_0$  と  $h_0'$  の比を  $k_0$  とおけば

$$k_0 = \frac{2}{1 + \frac{l_1}{l_1 + m} + \frac{al_1m}{(l_1 + m)(l_1h_f + l_2h_f - al_2)}} \dots \dots \dots (5)$$

と表わし得る。 $k_0$  の形で表わした母材幅に起因する誤差の計算値の一例は第1表に示すとおりで本計算例は  $l_1 = l_2$  なる条件下で  $h_f$  をパラメータとし、 $m$  を変数として表わしたものである。

アークスポット溶接時の間げき長として 3 mm 以下を想定すると第1表中で  $h_f = 10a$  以下の場合を対象に考えれば十分である。したがって第1表の計算結果から  $l_1 = l_2$  の条件下で観測するものとして母材幅 2m を X線源と被写体間距離  $l_1$  の 1/12.5 以下におさえれば母材幅による誤差を 2% 未満におさえアーク長絶対値を観測し得ることになる。

以上のような検討結果と同時に実験に際してはアーク熱、X線強度、漏えい線量、あるいは拡大率などの点から $l_1$ としては400~500mmを必要としたので溶接試料としては25~30mm幅の母材を用いて誤差を最小限におさえるよう考慮した。

### 3.2.3 中心軸のずれによる誤差

X線源、被写体およびI. I 蛍光膜それぞれの三中心軸を完全に一致させた状態で実験することは困難で第7図のようにX線源中心と被写体中心とはずれることが多い。このときに得られる透過像の大きさ $h_1$ は次式のようになる。

$$h_1 = 2a + \frac{(l_1 + l_2)(h_f - t - a)}{l_1} + \frac{(l_1 + l_2)(h_f + t - a)}{l_1 + m} \dots (6)$$

ここに  $t$ : X線源および被写体両中心軸のずれ  
(下方を正, 上方を負とする)  
したがって真の透過像の大きさ $h_0$ との比を $k_1$ とおけば

$$k_1 = \frac{2a + \frac{2(l_1 + l_2)(h_f - a)}{l_1}}{2a + \frac{(l_1 + l_2)(h_f - a - t)}{l_1} + \frac{(l_1 + l_2)(h_f - a + t)}{l_1 + m}} \dots (7)$$

となる。 $l_1 = l_2$ の条件下での $k_1$ の計算結果の一例を第2表に示す。

3.2.2と同様にアークスポット溶接時のアーク長絶対値を3mm以下と想定すると被写体中心軸が下方にずれた場合 $l_1 = l_2 = 50$ mとしてもわずかのずれで数%の誤差を生ずる。たとえばX線源の焦点の大きさを0.3mmとし、アーク長を3mmとした場合中心軸のずれが3mm( $t = +20a$ に相当)であれば3%程度の誤差を生ずるので実験に当たってはX線源下端と母材上面を一致させるよう注意して中心軸のずれによる誤差を少なくした。

### 3.3 溶接現象の解析結果とそれに対する検討

3.2で述べた精度検討の結果間げき長の短いアーク現象に対してかなりの精度で溶接現象の観察が可能であることがわかったので、アークスポット溶接時のアーク現象の観測にI. Iを利用した写真観測を利用することにした。

#### 3.3.1 アークスポット溶接の溶接過程

第8図に示した組写真が溶接過程中的おもだった状況を示すもので、各コマの中央部に薄く撮影されているのが被包キャップ、中央部に細く、かつ濃く撮影されているのが被覆溶接棒である。また各コマ中下方が溶接母材側であり、上部の黒い部分は被包キャップと本体の結合部である。アーク現象の観察は16ミリシネカメラを使用し、毎秒48コマで撮影したフィルムを毎秒16~24コマ程度の速度で拡大映写して行なった。以下(I)~(V)に分類した各過程について概説する。

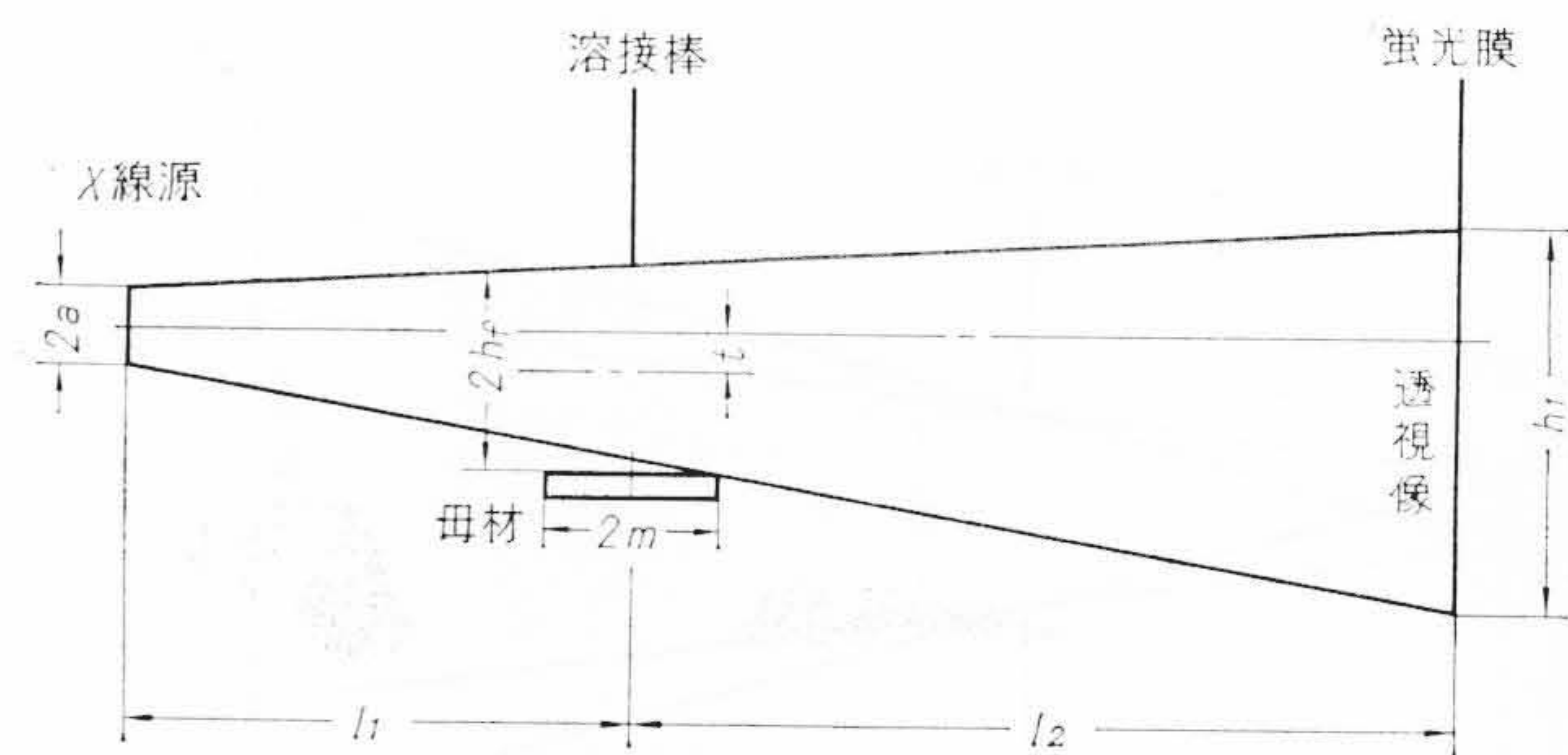
(I): 溶接棒を押し下げて母材と接触させた上アークをスタートさせる過程で本過程の6コマ目でほぼ母材との接触が認められる。

(II): アークがスタートし、溶接が開始される過程で高速度撮影フィルムを低速度で映写して観察した結果では、5~7コマ目あたりでアークがスタートしている。

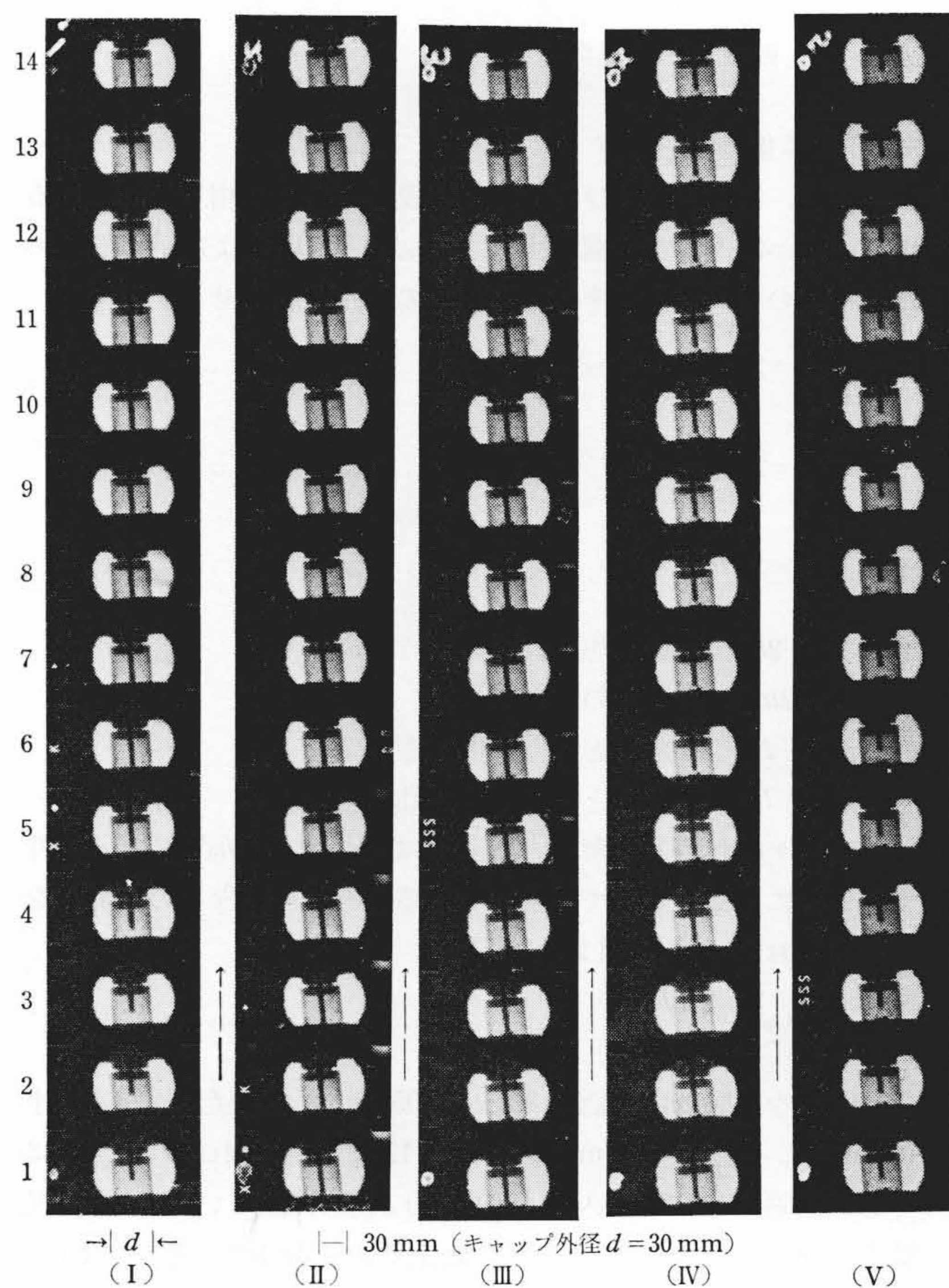
(III): 短いアーク長でアークが持続する過程で、バネ圧によって送られる溶接棒の送給量と母材の溶融移行量がほぼ平衡を保つため、アーク長はかなり短い状態でほぼ一定に保たれている。短間げき長であるため、溶接棒直下に移

第2表 被写体軸心のずれと透視像精度の関係

| $t$     | $k_1$              |            |             |             |             |                    |            |             |             |             |
|---------|--------------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|------------|-------------|-------------|-------------|
|         | $l_1 = l_2 = 30$ m |            |             |             |             | $l_1 = l_2 = 50$ m |            |             |             |             |
|         | $h_f = 2a$         | $h_f = 5a$ | $h_f = 10a$ | $h_f = 20a$ | $h_f = 30a$ | $h_f = 2a$         | $h_f = 5a$ | $h_f = 10a$ | $h_f = 20a$ | $h_f = 30a$ |
| $+a$    | 1.022              | 1.018      | 1.017       | 1.017       | 1.017       | 1.013              | 1.011      | 1.010       | 1.010       | 1.010       |
| $+5a$   | 1.070              | 1.034      | 1.024       | 1.020       | 1.019       | 1.041              | 1.020      | 1.015       | 1.012       | 1.011       |
| $+10a$  | 1.135              | 1.053      | 1.034       | 1.025       | 1.022       | 1.077              | 1.032      | 1.020       | 1.015       | 1.013       |
| $+20a$  | 1.295              | 1.095      | 1.052       | 1.034       | 1.028       | 1.159              | 1.055      | 1.031       | 1.020       | 1.017       |
| $+50a$  | 2.235              | 1.242      | 1.146       | 1.061       | 1.045       | 1.496              | 1.133      | 1.065       | 1.036       | 1.027       |
| $+100a$ | —                  | 1.601      | 1.229       | 1.110       | 1.076       | 2.940              | 1.293      | 1.127       | 1.064       | 1.045       |
| $-0.5a$ | 1.006              | —          | —           | —           | —           | 1.005              | —          | —           | —           | —           |
| $-a$    | 1.000              | 1.011      | 1.014       | 1.015       | 10.155      | 1.000              | 1.007      | 1.008       | 1.009       | 1.009       |
| $-4a$   | —                  | 1.000      | —           | —           | —           | —                  | 1.000      | —           | —           | —           |
| $-9a$   | —                  | —          | 1.000       | —           | —           | —                  | —          | 1.000       | —           | —           |
| $-19a$  | —                  | —          | —           | 1.000       | —           | —                  | —          | —           | 1.000       | —           |
| $-29a$  | —                  | —          | —           | —           | 1.000       | —                  | —          | —           | —           | 1.000       |



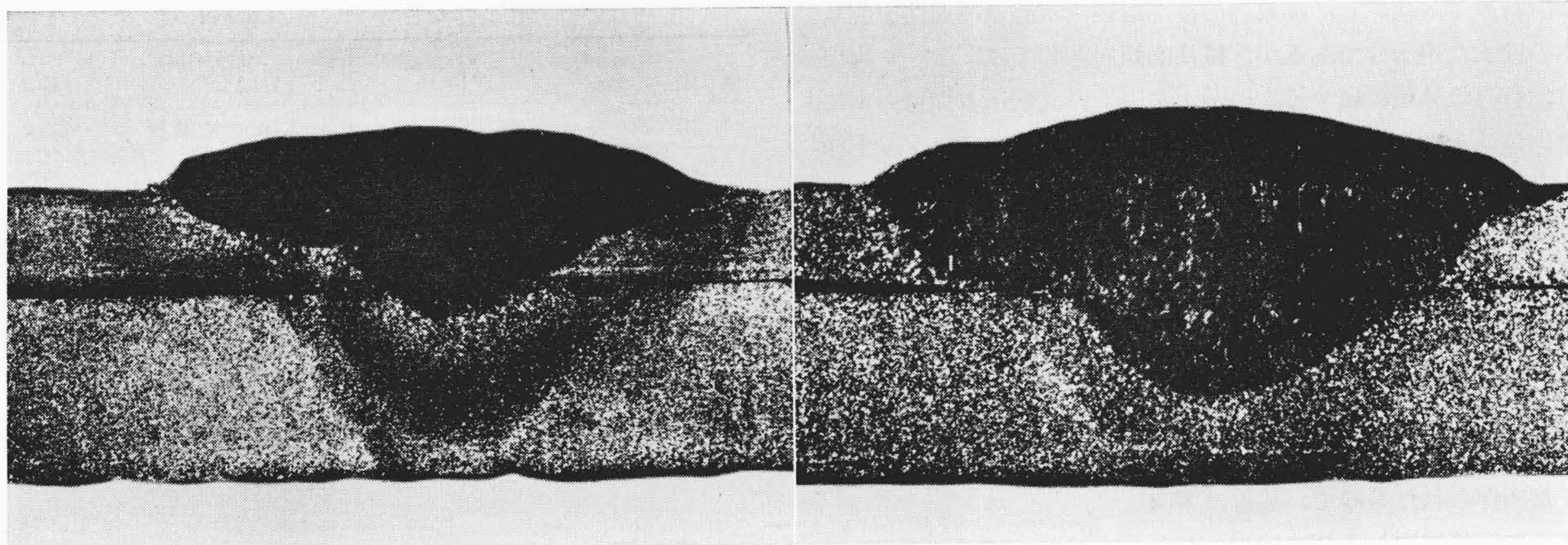
第7図 被写体の中心軸がずれた場合のX線源被写体および透過像の関係



第8図 アークスポット溶接時の溶接過程

行する溶滴は判別しがたいが、直下以外に移行する溶滴はごく鮮明に判別できる。

(IV): 溶接棒の送給が停止するため、アーク長が長くなる過程



第9図 アークスポット溶接部マクロ組織写真例 (1.0+2.0mm×10)

で1コマ目でもすでに(Ⅲ)の過程中的アーク長より長くなっている。

- (V): (Ⅳ)の過程がさらに進行し、消弧に至る過程で溶滴移行は本過程にも引き続き行なわれるが、アークの広がりがかかなり大きく、母材上の陰(陽)極点はい回るため、かなり広い範囲に移行している。

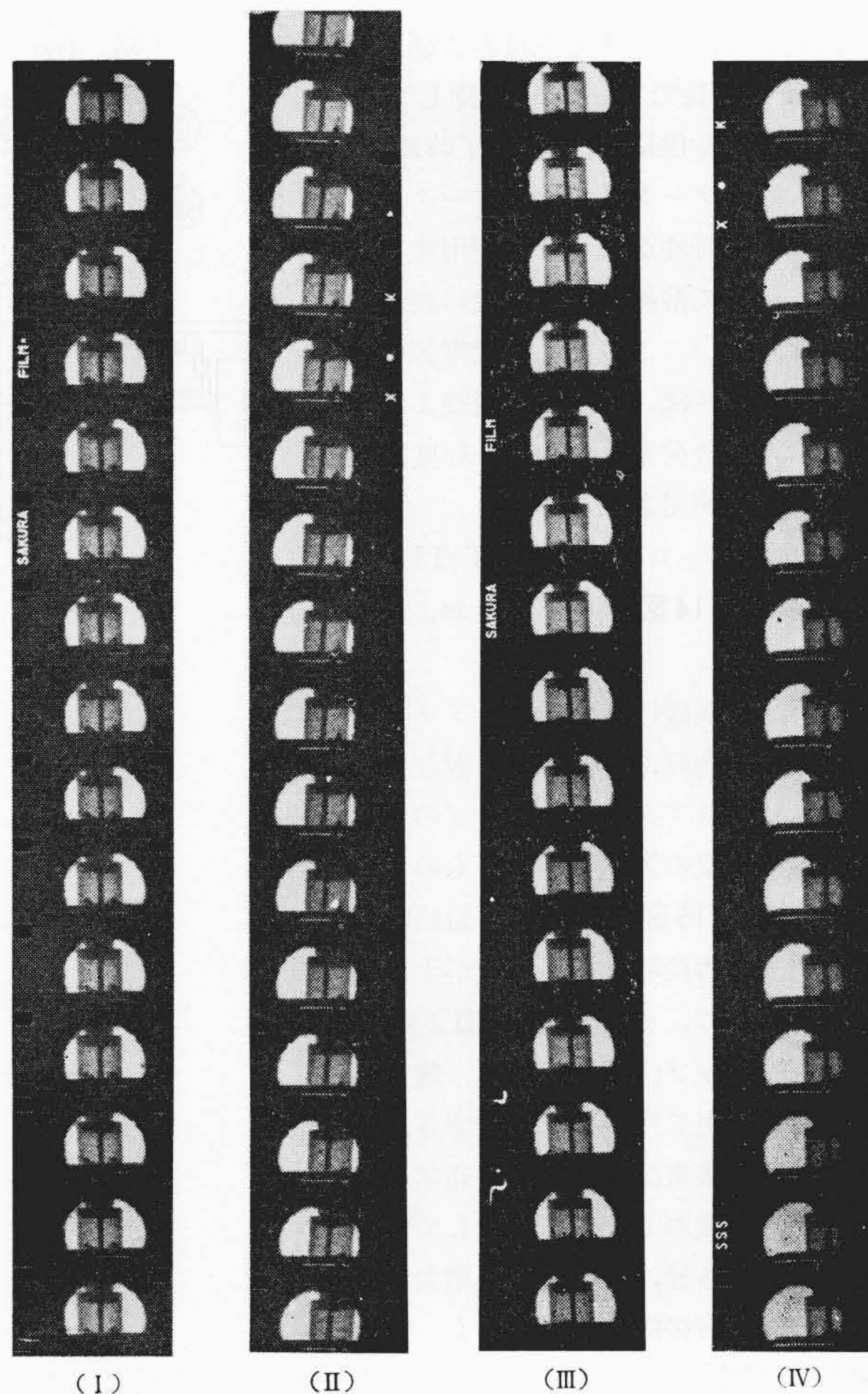
### 3.3.2 溶接過程と母材接込み状態の関連性

本溶接法はスポット溶接部がアーク熱により加熱されて融接される溶接法であるため、溶接部の溶込み状態は普通のアーク溶接の溶込み状態に類似した形態を示す。第9図はアークスポット溶接部のマクロ組織写真の一例を示したものである。溶接部の強度はナゲット径と溶込み深さ、欠陥(主としてプロホール)の有無などに関係すると考えられるが、第9図に示されるように同一の溶接条件で溶接を行なっても、必ずしもナゲット径や溶込み深さが一定しない例がみられた。そこで溶接時の溶接過程と溶込み状態の関連性について検討した。溶接試料としては1.6tと2.3tおよび2.3t同志、合計30試料を用い、この際の溶接現象をI.Iを用いてシネカメラにより連続撮影するとともに溶接全試料の溶接部のマクロ組織写真を撮影の上それぞれ対比せしめた。

まずアーク現象の撮影結果であるが、3.3.1でのべた短いアーク長でアークが持続する過程には溶接時ごとにかかなりの差異が認められた。溶接過程を大きく分類すると下記の4種に分類できる。

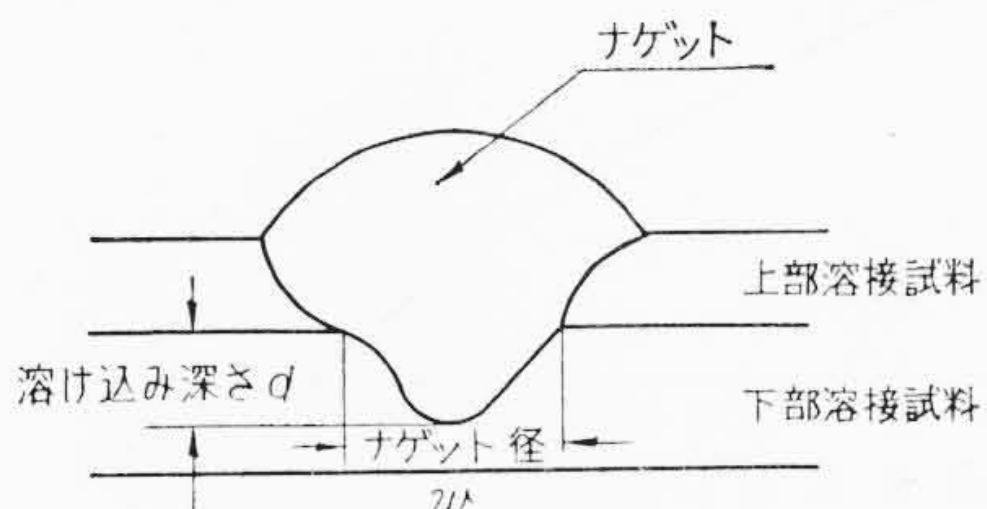
- (Ⅰ): 溶滴が溶接棒を中心として四方に移行すると見なされるもの
- (Ⅱ): 特定個所にほぼ固定されるが、この固定点が溶接棒から比較的離れているとみなされるもの
- (Ⅲ): 溶接棒近傍の固定点に溶滴が移行していると見なされるもの
- (Ⅳ): 溶接棒のほぼ直下に溶滴が移行していると見なされるもの

第10図(Ⅰ)～(Ⅳ)は上記分類に相当する試料の代表例を示したものである。



第10図 溶接過程主要部分類例

つぎに溶接部のマクロ組織写真は第9図に例示したものと同等であって、写真より第11図に示すナゲット径 $d$ と溶込み深さ $w$ を求め、これらの数値をそれぞれ4段階に分類して、さきの溶接現象の分類結果と対比させたものが第3表である。第3表に分類



第11図 溶接部概略図

第3表 アーク現象とナゲット径溶込深さの関連性

| アーク現象分類 | ナゲット径 (mm)       |                    |                    |              | 溶込深さ (mm)        |                    |                    |              | 試料数 |
|---------|------------------|--------------------|--------------------|--------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------|-----|
|         | $0 \leq w < 1.5$ | $1.5 \leq w < 3.0$ | $3.0 \leq w < 4.5$ | $4.5 \leq w$ | $0 \leq d < 0.5$ | $0.5 \leq d < 1.0$ | $1.0 \leq d < 1.5$ | $1.5 \leq d$ |     |
| I       | 1                | 1                  | 2                  | 0            | 3                | 1                  | 0                  | 0            | 4   |
| II      | 1                | 3                  | 1                  | 2            | 4                | 1                  | 1                  | 1            | 7   |
| III     | 0                | 1                  | 5                  | 5            | 1                | 5                  | 3                  | 2            | 11  |
| IV      | 0                | 0                  | 4                  | 4            | 0                | 2                  | 4                  | 2            | 8   |

した試料数で溶接アーク現象と溶接部溶込み状態の関連性を判断するのはまだ不十分であるが、概括的傾向としては、アーク現象(Ⅲ)、(Ⅳ)の分類に属するものがナゲット径、溶込み深さともに大きい数値を示し、(Ⅰ)、(Ⅱ)の分類に属するものはナゲット径の大きさが一定せず、同時に溶込み深さが浅いものが多いといえる。以上のような対応結果をもとにして溶接状態を(Ⅲ)、(Ⅳ)の状態に保つため溶接電源の特性や、溶接ガンの被覆溶接棒送り込み機構を検討し、アークスポット溶接装置が開発された。

#### 4. 溶接装置

アークスポット溶接装置は、以上のような溶接作業を確実に容易に行なうため作られたもので、装置は第4表のように溶接電源および溶接ガンから構成されている。

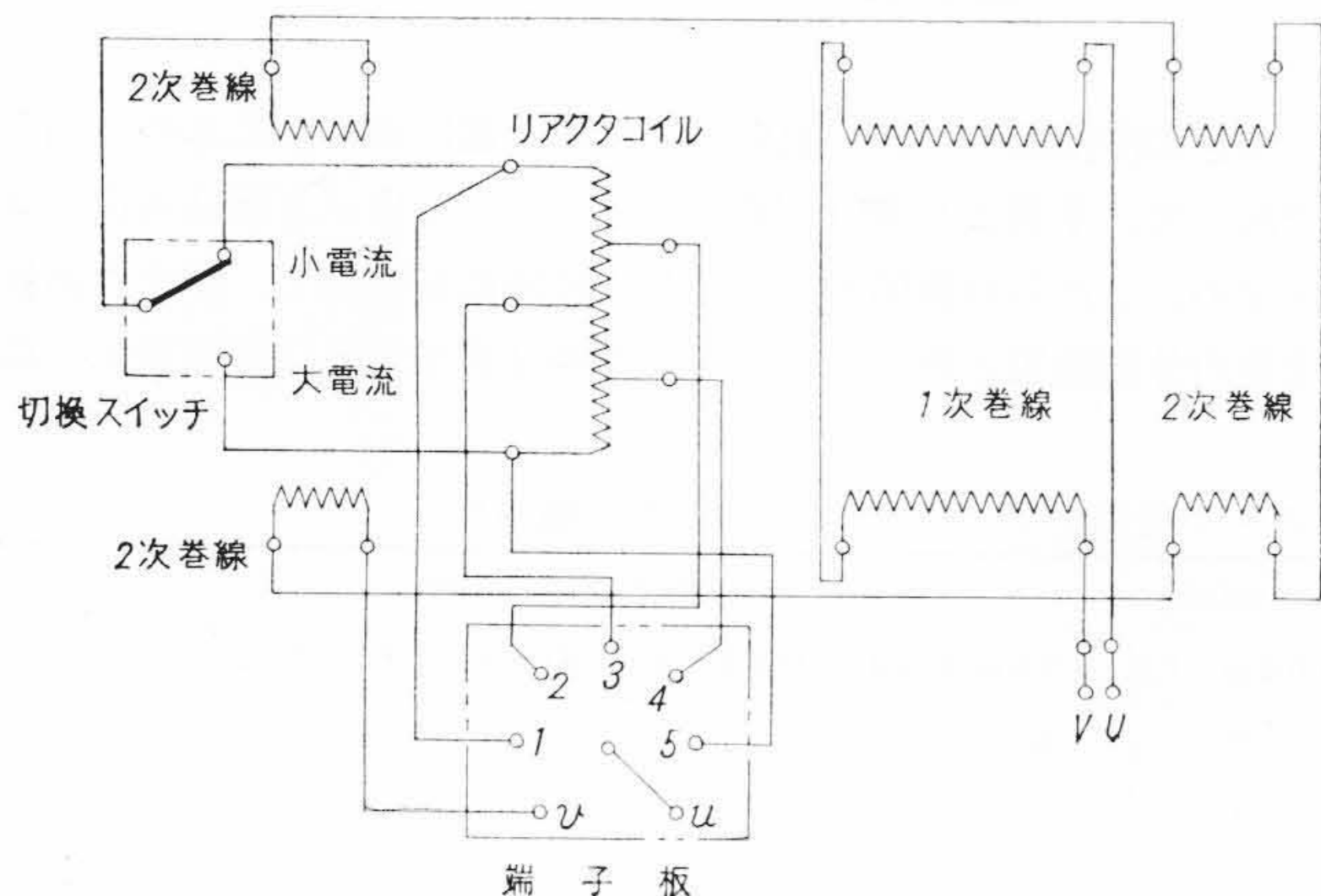
##### 4.1 溶接電源

溶接電源は、アーク発生時および比較的短いアーク長でアークを維持している間は大電流を供給し、溶接終了時には、10mm程度のアーク長で溶接アークが消弧するような特性が必要で、使用する溶接棒径に応じて溶接電流を数段に調整できねばならない。このため溶接電源の内部リアクタンスは、通常の溶接機よりも小さくし、無負荷電圧を約40V程度に低くしたものが使用される。

第12図はアーコン溶接機 AT-T1 の外形図、第13、14図は内部構造および結線図である。

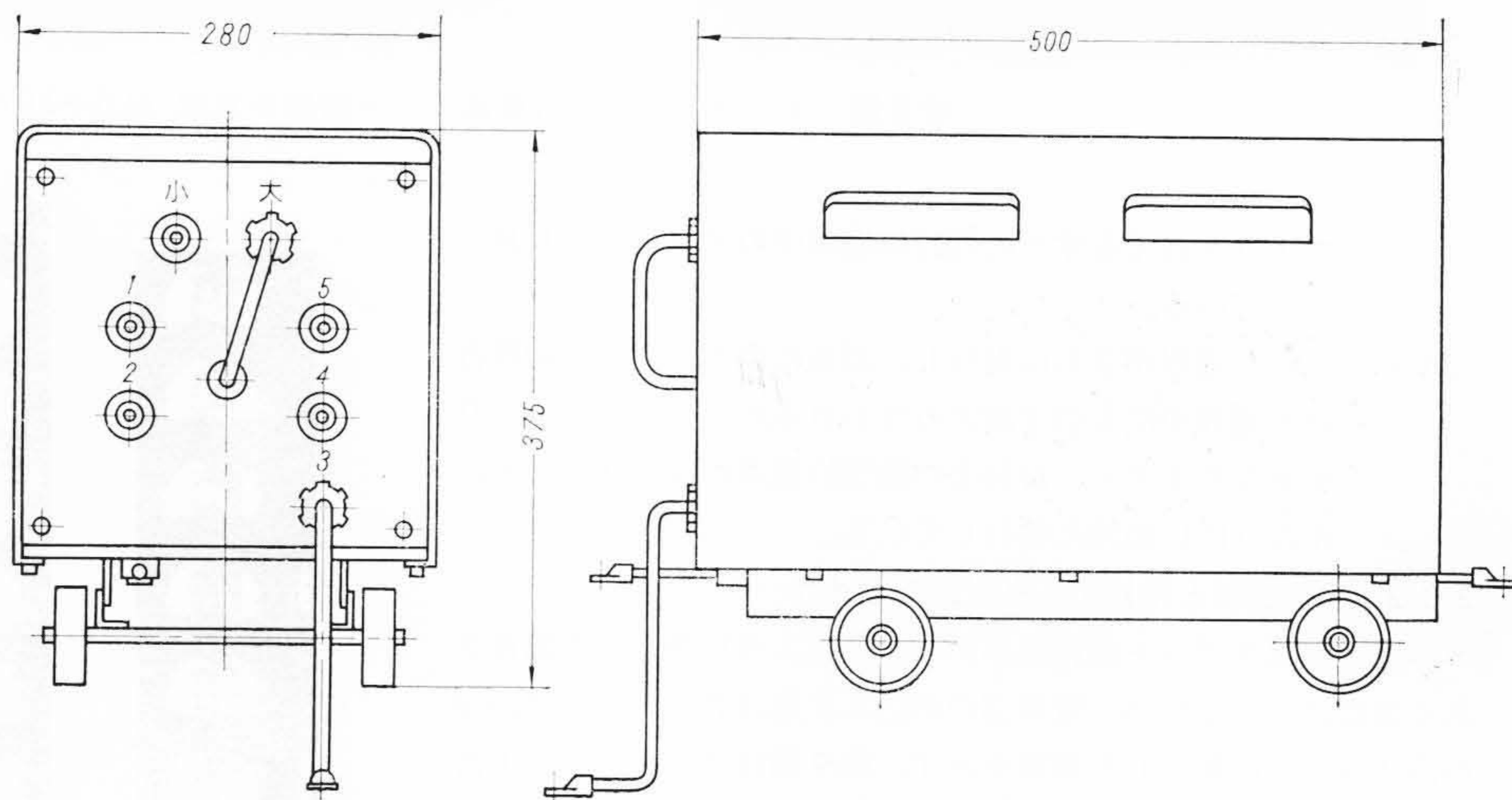
アーコン溶接機は変圧器、リアクタ鉄心、リアクタ巻線、切換タップ板などより構成され、リアクタ巻線タップの変更により溶接電流の調整を行なうもので、外部特性は第15図のように、短絡時および短アーク溶接時の溶接電流が十分大きくなるように、また無負荷電圧約40Vで電流調整タップ位置によって、無負荷電圧の変化を生じないように考慮されている。なお溶接電源としては、通常の交流アーク溶接機の二次側に接続して無負荷電圧を低下させ、短絡電流を増大するアーコン補助溶接機も使用できる。

第16、17図はアーコン補助溶接機の外形図および結線図で、こ

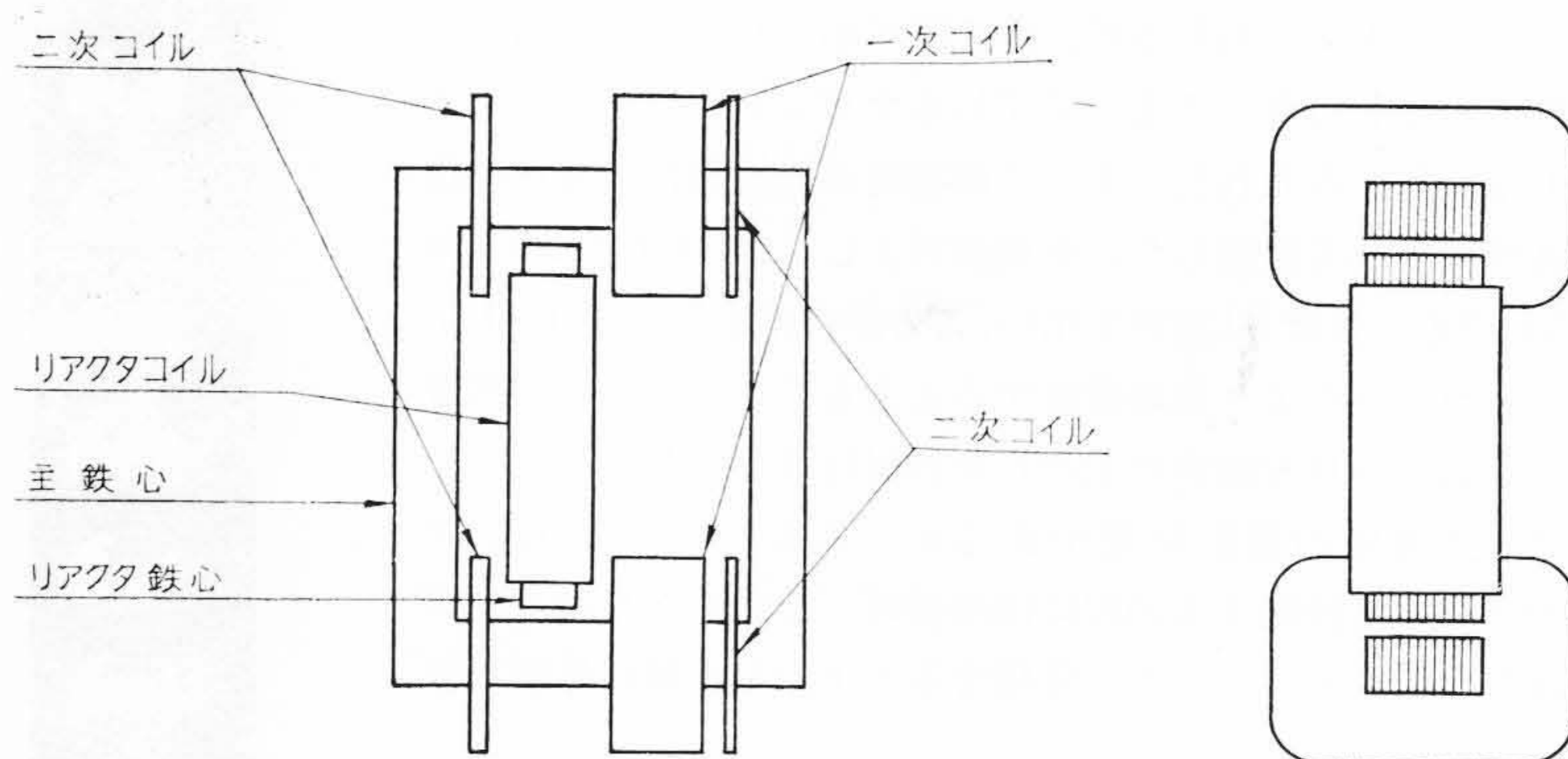


第14図 アーコン溶接機(AT-T1)結線図

| 項目     | 機種 | アーコン溶接機<br>AT-T1        | アーコン補助溶接機<br>D-AC | ガン<br>G1 |
|--------|----|-------------------------|-------------------|----------|
| 溶接能力   |    | 0.5~3.2mm 軟鋼板           |                   |          |
| 定格一次電圧 |    | 200V                    | 60~90V            | —        |
| 定格周波数  |    | 50 または 60 c/s<br>いずれか専用 | 50/60 兼用          | —        |
| 定格二次電流 |    | 200A                    | 200A              | —        |
| 適用溶接棒径 |    | 1.6~2.6 mmφ             |                   |          |
| 適用溶接棒長 |    | 235 mm 以下               |                   |          |
| 溶接姿勢   |    | 全姿勢                     |                   |          |
| 製品重量   |    | 約 40 kg                 | 約 14 kg           | 約 1.2kg  |



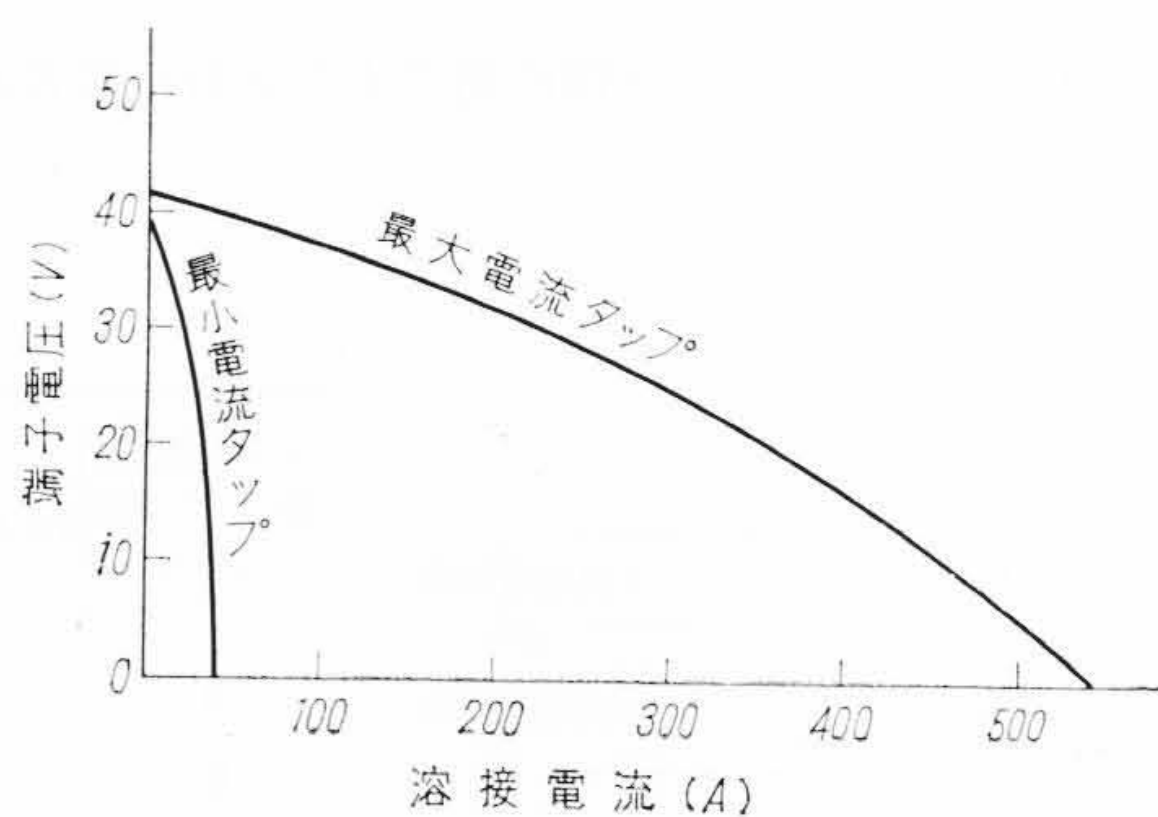
第12図 アーコン溶接機(AT-T1)外形図



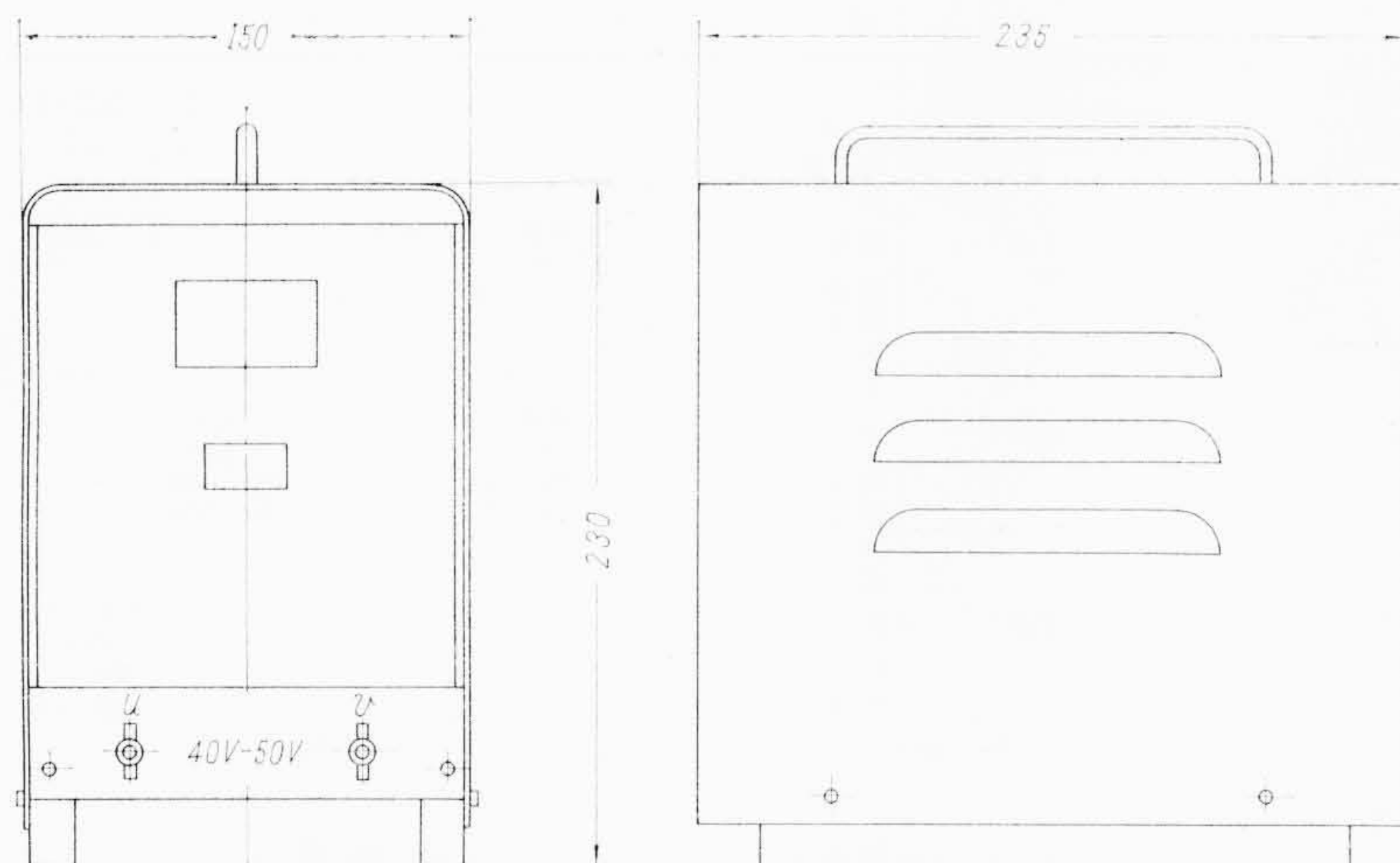
第13図 アーコン溶接機内部構造図

れを使用する場合の電流調整は交流アーク溶接機側で行なう。

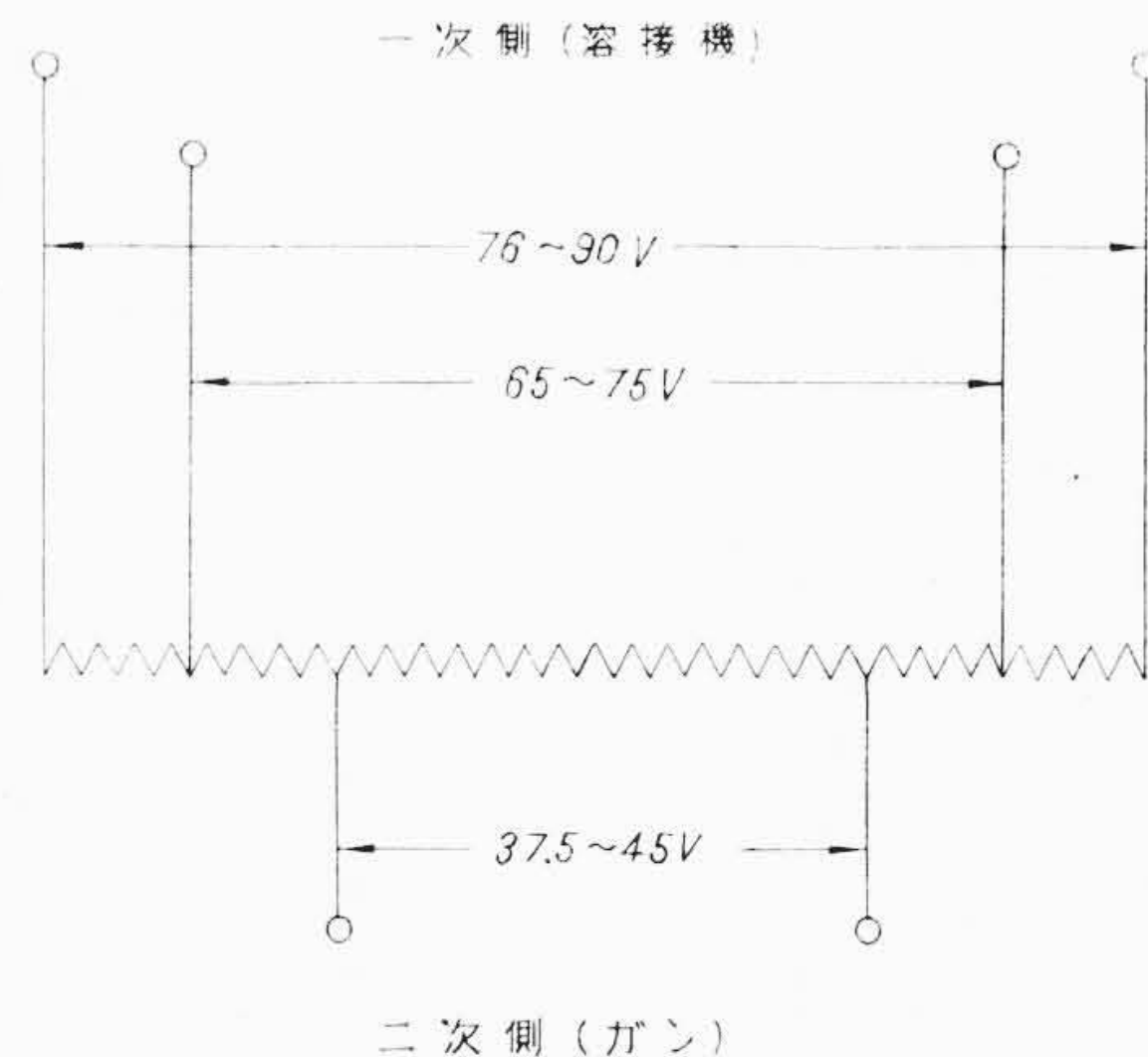
これらの電源はいずれも可搬形で、H種絶縁を採用し、極力小形軽量化されており、溶接現場での移動、取り扱いに便利よう配慮されている。



第15図 アーコン溶接機外部特性



第16図 アーコン補助溶接機(D-AC)外形図



第17図 アーコン補助溶接機(D-AC) 結線図

#### 4.2 ガン

ガンは被溶接物の板厚に応じて線径の異なる数種の被覆溶接棒を使用するよう考慮されたもので、溶接棒をあらかじめ調整した一定長さ送給する機構と、溶接中、溶接棒に適切な圧力を加える機構、溶接アーク部を遮へいし、重ねられた2枚の鋼板が密着するよう十分加圧可能なキャップおよび、ロッドストップ機構などを備えている。

第18図は、ガンG-1の外形ならびに内部構造を示したものである。同図で電極金具に所定の溶接棒を取り付け、キャップを溶接個所に押し付けると、ガイドロッドが後退し、所要の棒送り込み長さに相当するたわみが電極バネに与えられる。さらに可動片が後退すると、可動ストップおよび送りネジが押されて、レバー板が傾きガイドロッドを固定して被溶接物をキャップによって十分加圧できるようになる。

したがって、握りを持って被溶接物を強く押し付ければ、溶接棒を送り込む電極バネに所定のたわみが自動的に与えられると同時にアークが発生し、適当なバネ圧のもとで定量の溶接棒が溶融して溶着鋼が形成されると、次にアークが次第に長くなり、ほぼ一定の消弧長で消滅して一点の溶接が終了する。

ガンG-1は、使用棒径に応じて電極バネを交換して、溶接棒加圧力を適当に調節することが可能であり、キャップや電極絶縁物などの消耗部も簡単に交換できるよう考慮されている。

#### 4.3 アーコン溶接装置の特長

アーコン溶接装置を使用して被覆棒アークスポット溶接を行なうと、従来の溶接方法に比較して作業が簡略化され、次のような利点が得られる。

(1) 鋼板の大きさに制限されない。

薄鋼板の片側からガンを当てるだけで溶接可能でフトコロ寸法の制約をうけないため広幅鋼板の点溶接が自由にできる。

(2) 下側鋼板の厚さに制限されない。

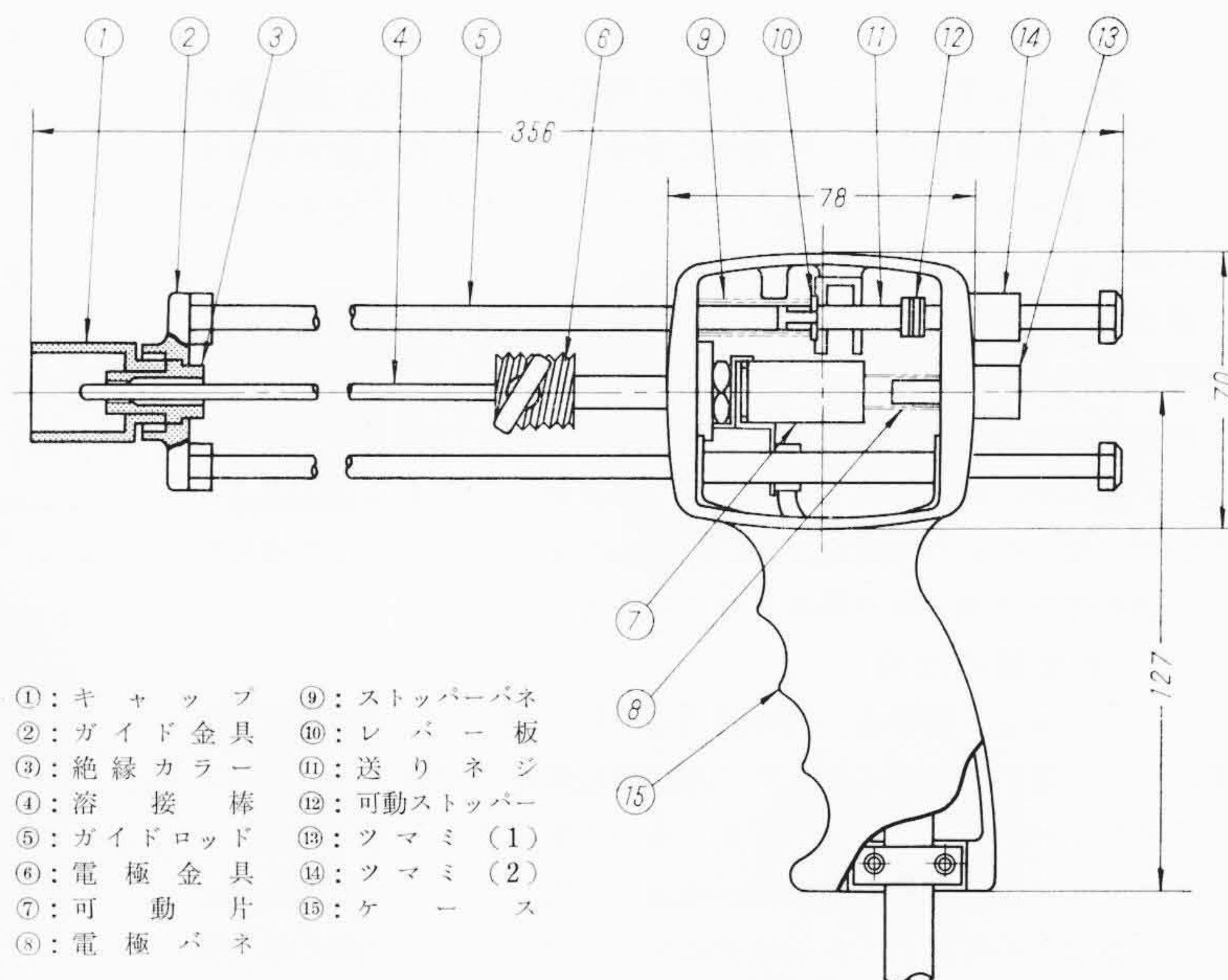
下側鋼板または形鋼の厚さは制限がなく、厚板と薄板の点溶接が可能である。

(3) せん溶接にくらべ均一な仕上がりが得られる。

板厚および溶接棒径に応じて適当な電極スプリングを使用し、溶接棒送り込み量を一定に保つので均一な仕上がりが得られる。

(4) 操作が容易である。

ガンは軽量で溶接棒の加圧、送り込み量のセット、ガイドロッド



第18図 ガン(G-1)内部構造図

ドを固定し、被溶接物を押し付けるストップ機構の動作などが、すべて自動的に行なわれるから操作が容易である。

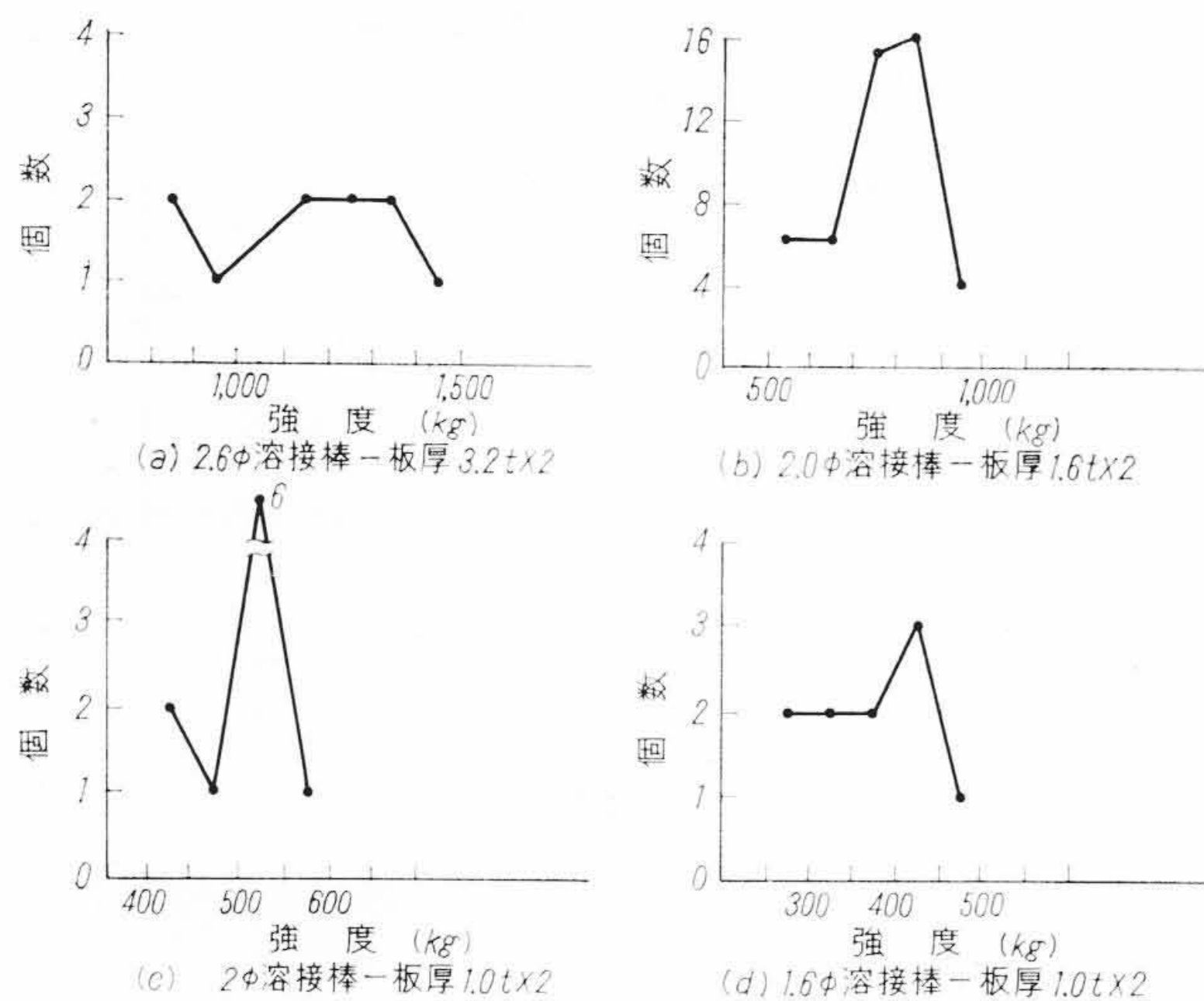
#### 5. 溶接部の仕上げおよび強度

アークスポット溶接の仕上がり、溶接結果に影響をおよぼす要因には、溶接電流、溶接棒径、溶接棒送り込み量、鋼板厚さ、鋼板表面状況、鋼板密着状況などがあり、このほか前章でのI・Iによる観測結果から、溶接中の被覆溶接棒先端のフラツキや、溶融状態の不均一性も外観、溶け込み深さ、溶接強度に影響を与えることが認められる。このように溶接部の外観、強度に関連する溶接条件が多いため本溶接法を抵抗溶接法と比較すると、本質的にバラツキが大きくなることは止むを得ないが、適正溶接条件のもとに使用すれば、そのバラツキは抵抗溶接普通条件(Cクラス)の $\pm 20\%$ に対して $\pm 30\%$ 程度に押さえられ、引張強度も1.0~1.6tの薄鋼板に対しては抵抗溶接の80~90%の値が得られるので、薄鋼板を用いる溶接箇所、たとえば建築容器など実用範囲も広いと考えられる。

##### 5.1 引張り強さ

引張り強さに影響するおもな因子は、溶接電流と溶接棒送り込み量であって、溶接電流が大で、溶接棒送り込み量が大なるほど強さは増加の傾向を示す。

引張り強さは鋼板の厚さによっても影響されるが、これは板厚に



第19図 試験片引張強度測定例

よって溶け込み深さや、ナゲット径が制限されるため、薄鋼板の二枚重ね溶接の場合には、溶接部に当金を行ない、ぬけ落ちを防止しながら十分な溶け込みが得られるよう、溶接条件を決定することが必要である。

第5表は、各種板厚の軟鋼板を二枚重ねとして溶接を行なう場合の標準溶接条件を示す。

第19図は、上記標準溶接条件で溶接した試験片の引張り強さを測定した結果で、試験片寸法はJIS Z 3141に従い、いずれも裏当金を用いて溶接したものである。この結果から本溶接法によって得られる引張り強度は第6表の程度と考えられる。

## 5.2 溶接部の欠陥

アークスポット溶接は、短時間内で二枚の鋼板を局部的に熔融状態にして溶着鋼を形成するため、溶鋼の脱酸作用が通常の溶接ほど十分に行なわれず、溶着部にブローホールを生ずることがある。

ブローホールは鋼板重なり部が密着してなかったり、鋼板表面にさび、油などが付着している場合に生じやすいが、溶接前に鋼板表面をブラッシングし、溶接中鋼板の重なり部を加圧して十分密着させればその発生を防止することができる。

## 5.3 外観

適正な溶接条件で溶接されたものの外観は、ボタン状の均一な形状を示す。溶接部の外観は溶接電流が過大または過少の場合、溶接棒送り込み量が過大または過少の場合に不揃いになりやすいので、第5表に示した標準溶接条件で施行することが望ましい。溶着鋼の盛り上がり高さは溶接電流が大きく、溶接棒送り込み量が小さいほど低くなる傾向がみられる。

以上を総合すると、溶接条件と溶接結果には第7表のような関係が認められる。

第20図に溶接試験片の外観写真を示す。

## 6. 結 言

以上、被覆溶接棒を使用したアークスポット溶接法について、その溶接現象をI. Iおよびシネカメラを利用して観察し、比較的短いアーク長での溶接過程もこの手法により十分解析し得ること、およびアークスポット溶接を薄鋼板に用いる場合の溶接条件、強度などについて述べたが、本溶接法は従来のせん溶接や抵抗溶接による薄板溶接に比較して非常に簡便な方法であり、溶接部の強度やそのバラッキも第6表に示す値が得られている。薄鋼板を使用する適当な構造物、たとえば建築、容器具、車両補修などには、本溶接法を十分適用できるものが多く、今後多方面に普及するものと思われる。

第5表 標準溶接条件

| 溶接棒径 (mmφ) | 板厚 (mm)       |             |             |             |
|------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
|            | 1.0×2         | 1.6×2       | 2.3×2       | 3.2×2       |
| 1.6        | 溶接棒送り込み量 (mm) | 2~3         | 2~3         | —           |
|            | 使用タップ         | 小電流タップ No.2 | 小電流タップ No.1 | —           |
|            | 短絡電流 (A)      | 130~150     | 210~240     | —           |
|            | 溶接電流 (A)      | 60~70       | 80~100      | —           |
| 2.0        | 溶接棒送り込み量 (mm) | 3~4         | 4~5         | 4~5         |
|            | 使用タップ         | 小電流タップ No.2 | 小電流タップ No.1 | 大電流タップ No.4 |
|            | 規格電流 (A)      | 130~150     | 210~240     | 300~330     |
|            | 溶接電流 (A)      | 60~70       | 80~100      | 130~160     |
| 2.6        | 溶接棒送り込み量 (mm) | —           | —           | 3~4         |
|            | 使用タップ         | —           | —           | 大電流タップ No.2 |
|            | 短絡電流 (A)      | —           | —           | 450~470     |
|            | 溶接電流 (A)      | —           | —           | 200~240     |

注：使用タップはアーク溶接機 AT-T1 のタップを示す。

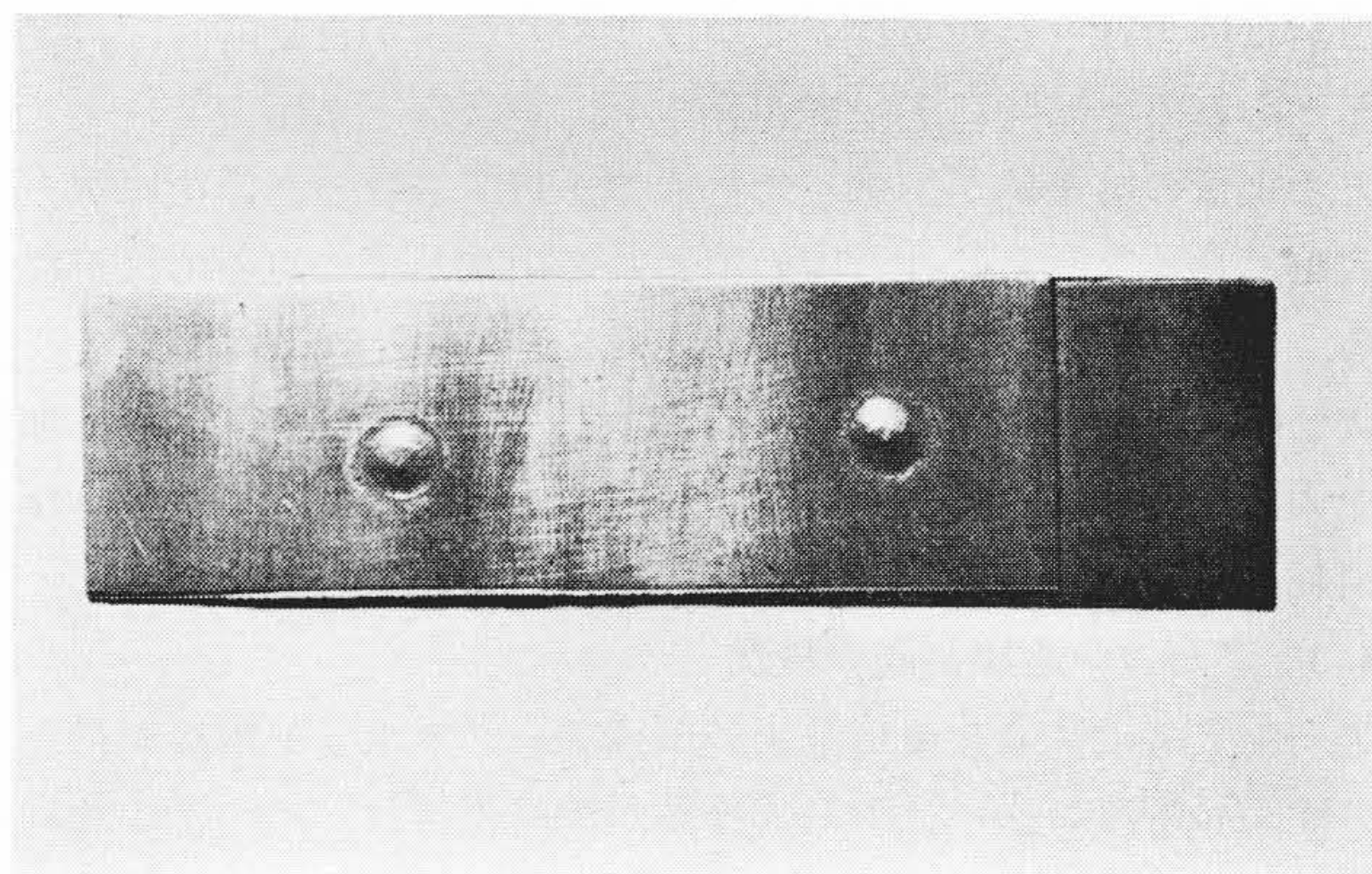
第6表 溶接部の引張強度

| 条 件                   | 引 張 強 度        |
|-----------------------|----------------|
| 1.6φ溶接棒で1.0m/m厚の板2枚重ね | 約370kg±100kg   |
| 2.0φ溶接棒で1.0m/m厚の板2枚重ね | 約500kg±150kg   |
| 2.0φ溶接棒で1.6m/m厚の板2枚重ね | 約750kg±200kg   |
| 2.6φ溶接棒で3.2m/m厚の板2枚重ね | 約1,200kg±300kg |

| 試験片寸法 (mm) |       | t   | A   | w  |
|------------|-------|-----|-----|----|
| 板厚 t       | → w ← | 1.0 | 100 | 25 |
|            | → A ← | 1.6 | 125 | 35 |
|            |       | 3.2 | 125 | 45 |

第7表 溶接条件と溶接結果の関係

| 溶接結果<br>条 件 | 外 観                                         | とけ<br>込み | 強 度            |
|-------------|---------------------------------------------|----------|----------------|
| 溶接電流過小の場合   | 盛りあがりが大で外観不良                                | 小        | 小<br>時としては接着不能 |
| 溶接電流過大の場合   | 盛りあがり小となる<br>電流が非常に大の場合は溶接部分に穴があき外観著しく不良となる | 大        | 大              |
| 溶接棒の送りが小の場合 | 盛りあがり小となり、溶接部に穴があく場合もあり外観不良                 | 小        | 小              |
| 溶接棒の送りが大の場合 | 盛りあがり大、外観不良                                 | 大        | 大              |



第20図 試験片外観写真

## 参 考 文 献

- (1) A. Hilpert: J. A. W. S., 8 (Dec. 1927)
- (2) A. Hilpert: J. A. W. S., 12 (July 1933)
- (3) 岡本, 安藤: 溶協誌 6, 244, 309, 387 (昭11)
- (4) 安藤, 長谷川: 溶学誌 26, 108 (昭32-2)
- (5) 浮田, 信原: 溶学誌 27, 133, 375 (昭33)
- (6) 浮田, 信原: 溶学誌 28, 180, 640 (昭34)
- (7) 浮田, 信原: 溶学誌 29, 175, 485, 526, 599 (昭35)
- (8) 安藤, 長谷川: 溶接アーク現象 225~247 (昭37-7 産業図書株式会社)