U.D.C. 621.791.7.06

電　気　圧　接　法

Upset Welding Method

坂　部　昭*　斉　藤　秀　称*
Akira Sakabe　Hideya Saitô

内　容　梗　概

土木建築業界の鉄筋コンクリート工事における鉄筋継長法として重ね継と，ガス圧接による方法とが多く使用されてきたが，最近の工事量の激増と鉄筋の材質形状の多様化に伴って種々の接合方法が要求されるようになり，これに応ずるためわれわれは新しく電気圧接法を開発した。

圧接の最適温度は酸化被膜の状況より肉眼で容易に検出できること，鉄筋端面の状況，鉄筋の種類，電流値，加熱時間などは相当広い範囲で安定を保ちうること，したがって信頼度が高く，圧接コストも低く経済的であることおよび鉄筋継長以外の鋼材接合部にも適用し得ることなどは本方式の特長である。

1. 緒　　言

土木建築業界の鉄筋コンクリート工事における鉄筋継長法として重ね継と，ガス圧接による方法とが多く使用されてきた。

重ね継は鉄筋の端部を互いにラップして結束する方法であり，ガス圧接は接合部をガスバーナにより外部から加熱し適当な温度に達したとき圧力を加えて接合する方法である。しかし最近の工事量の激増と，鉄筋の材質形状の多様化に伴って種々の接合方法が要求されるようになり，ここに新しく電気圧接法を開発した。

電気圧接は鉄筋の突合せ面(接合面)に電流を流し，接触抵抗により突合せ面を加熱した後，圧力を加えて接合する一種の加熱圧接法である。以下電気圧接機の概要と各種の鉄筋に対する圧接実験結果について述べ，信頼性が高く経済的にもすぐれていることを説明する。

2. 電 気 圧 接 法

一般に圧接の原理は接合面の不純物を排除して金属どうしに真の接触を与え原子間結合を得ることにある。電気圧接は**第1図**のようにあらかじめグラインダなどにより不純物を除去した鉄筋接合面を通電加熱し酸化物の溶融点である約 1,400℃ に達したとき圧力を加え酸化物を排除して比較的少ない変形量で圧接を行なうものである。

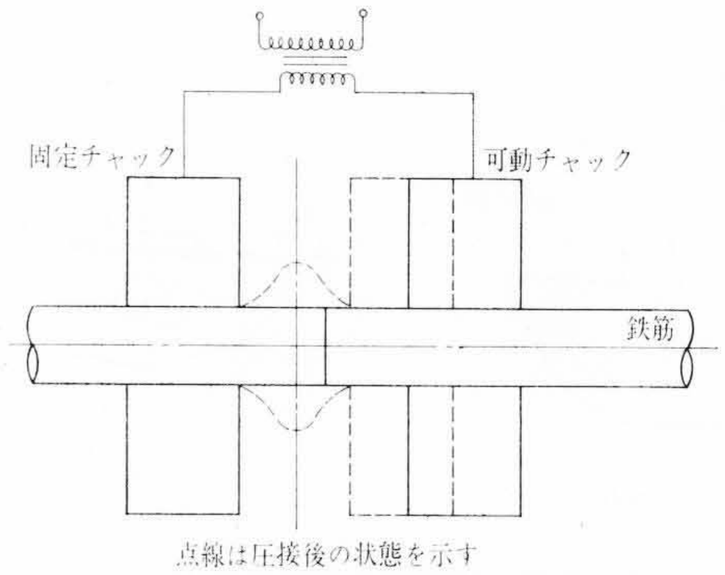
電気圧接では鉄筋自身に通電し内部から加熱するため接合面の温度が均一となり，かつ圧接に最適な温度が接合部表面の酸化被膜の溶けて流れる状態により肉眼で容易に検出できるので特殊な技術を必要とせず確実な圧接を行ない得るという特長を有している。

3. 電気圧接機の概要

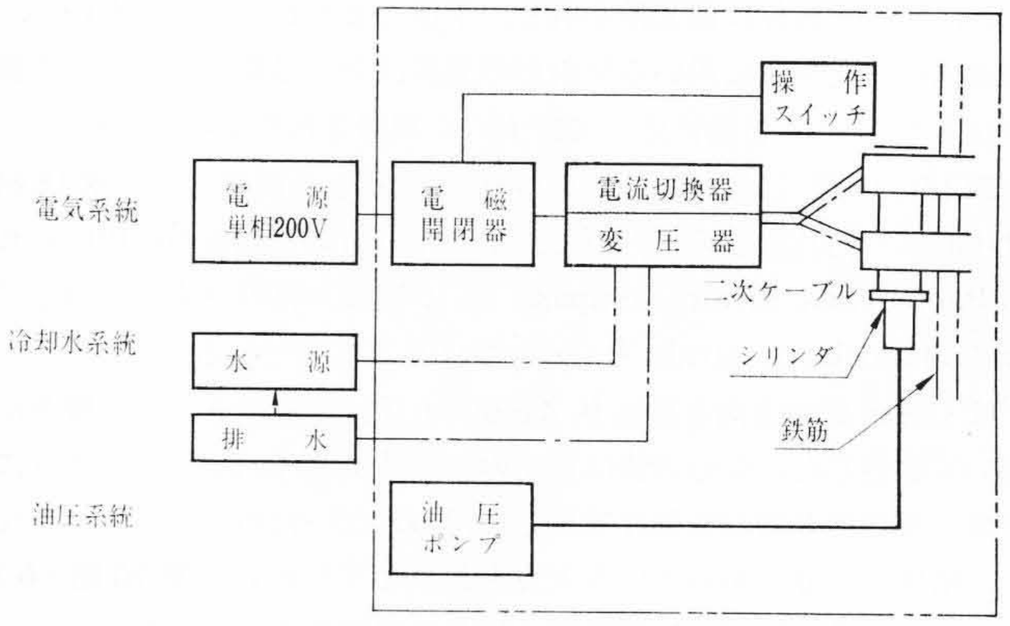
電気圧接機の各機能をうけもつ主要構成要素は，単相 200 V の電源電圧を受け低圧大電流に変換する主変圧器，鉄筋をつかんで圧力を加えるクランプ，クランプに電流を導く二次ケーブル，主変圧器一次側を開閉して電流の通電停止を行なう電磁開閉器，電磁開閉器を動作させる操作スイッチおよびクランプに圧油を送る油圧ポンプである。主変圧器，二次ケーブルおよびクランプの通電用チップは水冷式でこれらを系統的に示すと**第2図**のとおりである。

電気系統は操作スイッチを押し電磁開閉器を入れることにより動作し変圧器，二次ケーブルを介して鉄筋接合部に電流を流し加熱する。この際鉄筋に加わる電圧は数Vでありまた直接操作する操作スイッチの電圧は低電圧としてあり感電の危険はない。

油圧系統は足踏式油圧ポンプにより圧力を上げた油をホースを介してクランプのシリンダに導き鉄筋の加圧を行なうものである。小形軽量化された足踏ポンプには戻しバルブが設けてあり足踏レバーにより容易に加圧戻しを行なうことができる。



第1図　電 気 圧 接 原 理 図



第2図　電 気 圧 接 機 構 成 系 統 図

冷却水系統はコンクリート工事に必ず付随する水を用い変圧器，二次ケーブルおよびクランプの通電用チップ内を循環させて効果的に冷却を行ない全体を小形軽量化している。

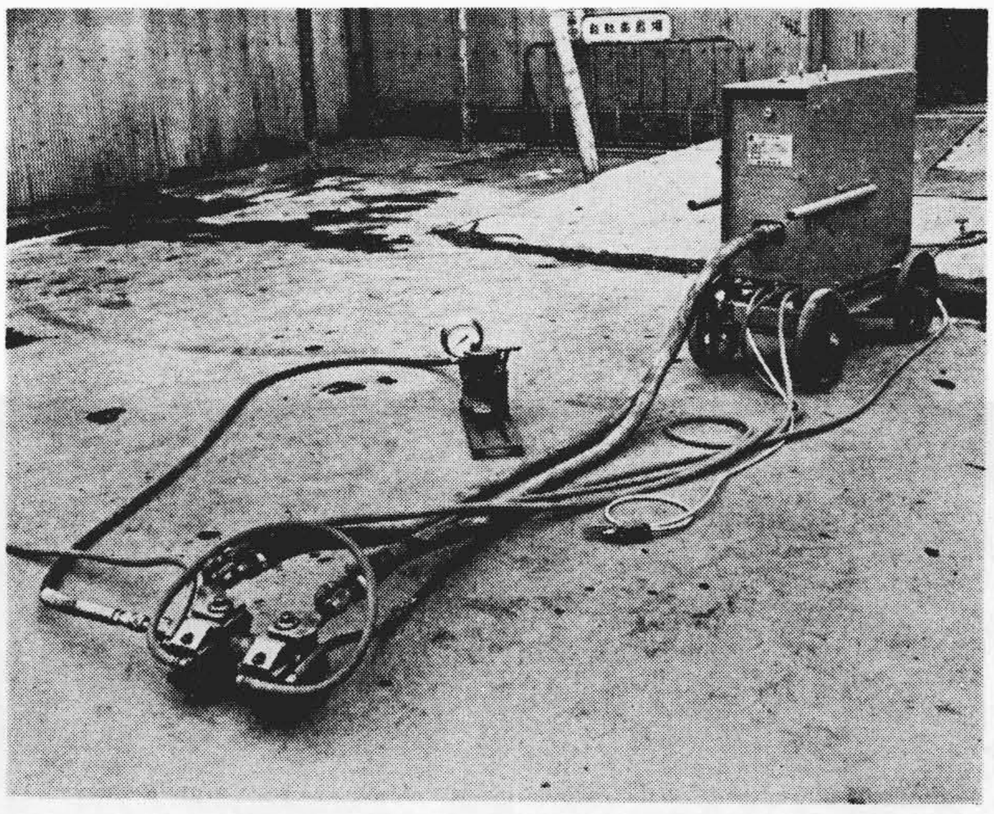
電気圧接機の種類は EP-WF 形と EH-25A 形の 2 種がある。EP-WF 形は土木工事を主対象とし，圧接機を適当な場所に移動して置き鉄筋を運んで圧接する作業に適しており，EH-25A 形は建築工事を主対象とし配筋された鉄筋の接合部を圧接機を移動しつつ順次圧接して行く作業に適している。両者の仕様を**第1表**に，外観を**第3, 4図**に示す。

EH-25A 形は二次ケーブルを 4 線式として主圧変器容量を小さくしているうえに変圧器部と制御部とを分離しており，容易に移動運搬することができる。なお工場などにおける定置式作業では鉄筋の把持(はじ)も油圧化することが能率的で**第5図**に一例で示す油圧式

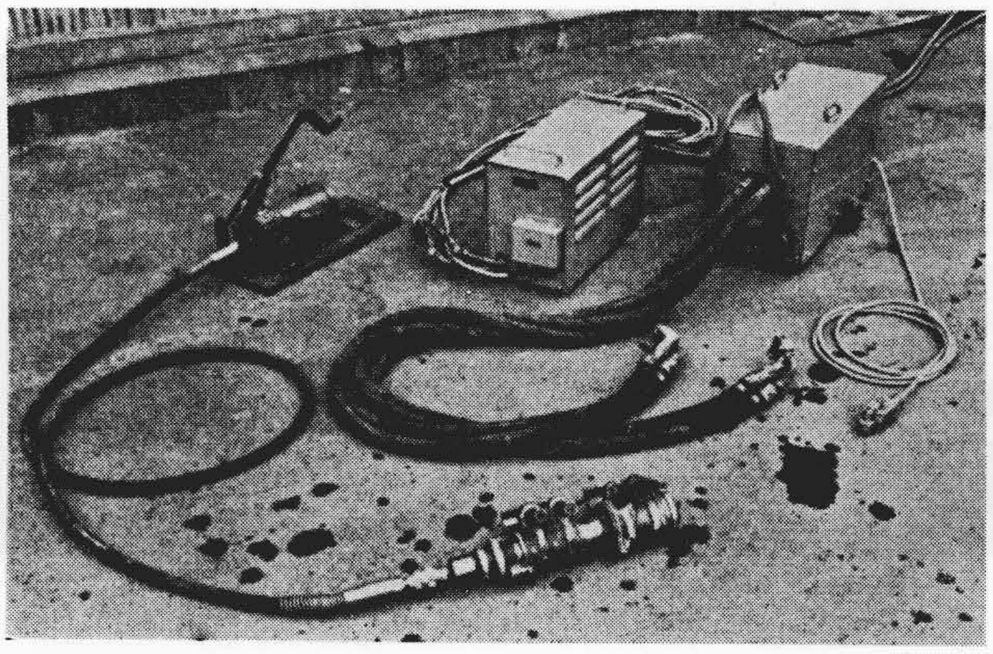
* 日立製作所亀戸工場

第1表　電気圧接機仕様

		EP-WF32	EH-25A
変圧器	定格容量	74 kVA	38 kVA
	定格一次電圧	200 V	200 V
	定格周波数	50/60 ∾	50/60 ∾
	最大負荷時入力	98 kVA	63 kVA
	能力	32～16 mmϕ	25～16 mmϕ
クランプ	最大ストローク	55 mm	40 mm
	初期間隔	80 mm	48 mm
重量	本体	290 kg（含台車）	52 kg
	制御箱		30 kg
	クランプ	17 kg	9.5 kg
	二次ケーブル	23 kg	15 kg
	足踏油圧ポンプ	10 kg	10 kg
	総重量	374 kg	135.5 kg
備考	一次電源ケーブル	サイズ 80mm^2 以上	サイズ 30 mm^2 以上
	二次ケーブル	2 m×2 線式	2m×4 線式
	水冷ゴムホース	サイズ 入口 5/8″ 出口 5/8″	サイズ 入口 1/2″ 出口 1/2″
電源設備容量		単相 75 kVA	単相 50 kVA



第3図　EP-WF　形

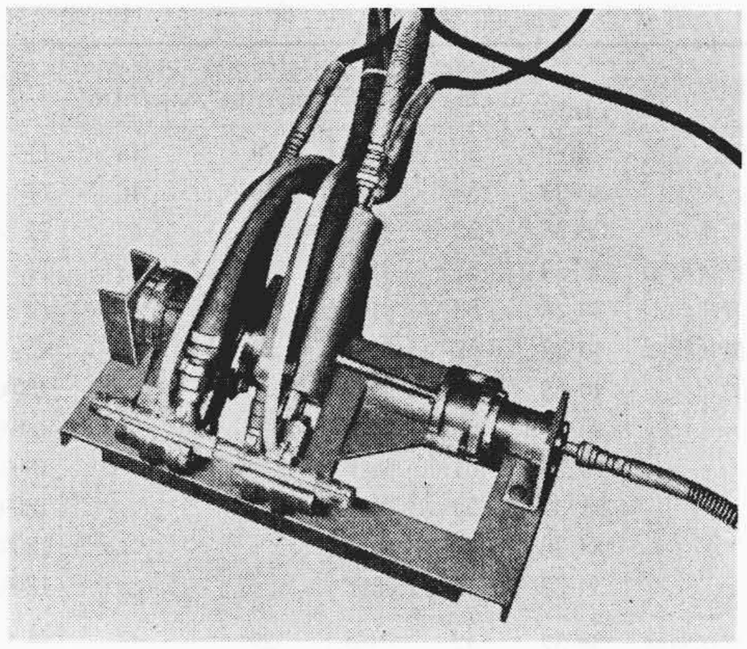


第4図　EH-25A 形

クランプでは鉄筋の取り付け，取りはずしを簡単迅速にし作業速度を上げることができる。

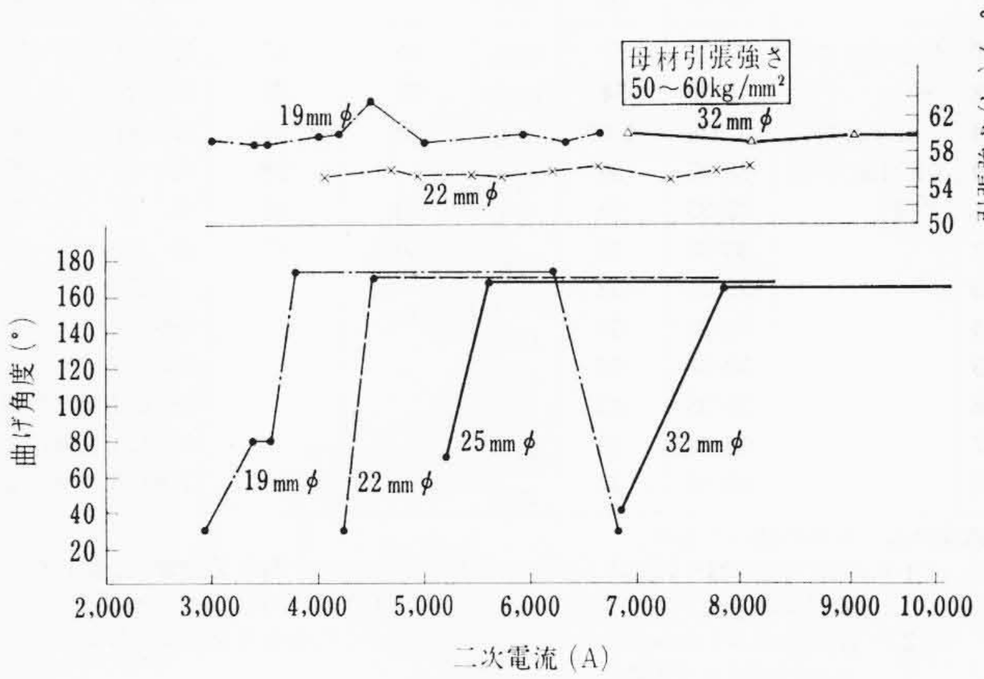
電気圧接機を用いた圧接作業は次のように行なわれる。

クランプにより鉄筋接合部を把持し足踏式油圧ポンプを踏んで初期加圧を与え接合端面を接触させる。操作スイッチを押して電磁開閉器を閉じ接合部に電流を流す。接合部が加熱され表面の酸化被膜が溶けて流れたところで通電を断ち，足踏ポンプを踏んで加圧し寄せをつづけてふくらみ径が鉄筋径の1.5～2倍になったら加圧を停止する。油圧ポンプの戻しレバーにより圧油を戻しクランプをはずして圧接を完了する。



第5図　油圧クランプ外観

第6図　工事現場圧接状況図



第7図　適正電流値範囲

なお工事現場においてはクランプを3個以上使用し，接合部に順次クランプをセットし圧接機移動して圧接作業を行なっていくことが能率的で，その一例を第6図に示す。

4. 圧接実験結果とその検討

4.1 接合端面の状況

接合端面の状況を変えた場合の接合強度は第2表のとおりで端面の多少の不純物は実用的には問題ないと考えられるが標準条件としてはグラインダをかけた直後(青味がかった酸化膜は除去)に圧接を行なうこととしている。

4.2 電流範囲

鉄筋接合部に通電して加熱を行なう電気回路は接合部のインピーダンスが 100 $\mu\Omega$ の程度であるため必然的に低圧大電流回路となる

第2表　端面状況を変えた実験

No.	接合面の状態	ふくらみ部の径 (mmφ)	通電時間 (S)	試験の種類	引張降伏点 (kg/mm²)	引張強さ (kg/mm²)	破壊箇所
1	接合面にさび	40	55	引張	29	46	母材切断
2	無し	38-35	56	引張	29	46	母材切断
3	（グラインダ	38-36	52	引張	30	47	母材切断
△4	掛け直後のも	39-38	52	引張	29	45	母材切断
△5	ので青味がか	38-36	53	引張	29	47	母材切断
△6	った酸化膜は	40-39	52	引張	30	46	母材切断
7	除去した）	40-38	56	曲げ			180℃まで無き裂
8		40-38	59	曲げ			180℃まで無き裂
9		38-36	64	曲げ			180℃まで無き裂
△10		38-37	54	曲げ			180℃まで無き裂
△11		38-36	71	曲げ			180℃まで無き裂
△12		39-37	56	曲げ			180℃まで無き裂
13	タップ切断直	38-37	42	引張	29	46	母材切断
14	後のもの	43-38	48	引張	30	47	母材切断
15	（グラインダ	38-36	52	引張	31	47	母材切断
△16	掛けず）	37-36	49	引張	29	47	母材切断
△17		42-39	47	引張	30	46	母材切断
△18		38-35	50	引張	30	46	母材切断
19		42-38	47	曲げ			180℃まで無き裂
20		39-37	51	曲げ			180℃まで無き裂
21		40-38	52	曲げ			180℃まで無き裂
△22		40-39	54	曲げ			180℃まで無き裂
△23		42-39	52	曲げ			180℃まで無き裂
△24		41-38	54	曲げ			180℃まで無き裂
25	接合面グライ	39-38	51	引張	30	47	母材切断
26	ンダ掛けの上	38-36	43	引張	30	47	母材切断
27	モビル油塗布	39-37	47	引張	30	47	母材切断
△28		40-39	48	引張	30	47	母材切断
△29		39-38	47	引張	30	47	母材切断
△30		40-38	48	引張	30	47	母材切断
31		40-38	43	曲げ			180℃まで無き裂
32		40-37	43	曲げ			180℃まで無き裂
33		39-37	44	曲げ			180℃まで無き裂
△34		41-38	44	曲げ			180℃まで無き裂
△35		40-39	51	曲げ			180℃まで無き裂
△36		40-38	52	曲げ			180℃まで無き裂
37	接合面にさび	37-36	57	引張	30	47	母材切断
38	多し	41-39	54	引張	30	32	接合部切断
39	（仕上後数日	37-36	1-00	引張	29	47	母材切断
△40	（5日間）戸外	36-35	59	引張		28	母材切断
△41	放置）	37-35	59	引張	30	45	母材切断
△42		39-38	49	引張	30	47	母材切断
43		39-37	52	曲げ			24℃まで無き裂
44		39-38	51	曲げ			180℃まで無き裂
45		39-38	50	曲げ			180℃まで無き裂
△46		39-38	43	曲げ			180℃まで無き裂
△47		39-38	43	曲げ			180℃まで無き裂
△48		39-38	44	曲げ			180℃まで無き裂

△印はふくらみの付いたもの

注：（1）　試験方法はJIS Z2241「金属材料引張試験方法」，JIS Z2248「金属材料曲げ試験方法」にて行なったもの。曲げ半径は 1.5d（d：母材径）

（2）　試験片はふくらみの付いたもの（△印）とふくらみを母材径まで加工したもの（無印）とである。

（3）　鉄筋材質は SS41，鉄筋径は 22 mmφ である。

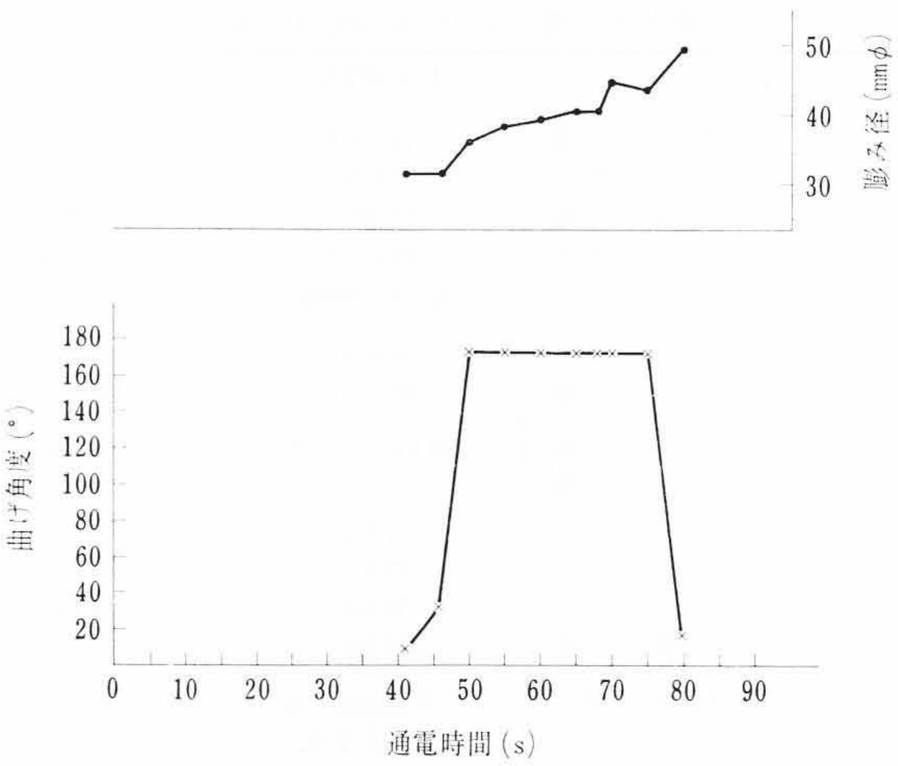
第3表　加熱時間を変えた実験

No.	通電時間 (秒)	圧接部ふくらみ径 (mmφ)	曲げ試験 曲げ角度	備考
1	41	32	破断（5°）	加熱不足
2	46	33	破断（30°）	加熱不足
3	50	37	170° まで無き裂	
4	55	39	170° まで無き裂	
5	60	40	170° まで無き裂	
6	65	41	170° まで無き裂	
7	68	41	170° まで無き裂	
8	70	45	170° まで無き裂	割れ多少有り
9	75	44	170° まで無き裂	割れ多し
10	80	50	破断（15°）	加熱オーバー割れ非常に多し

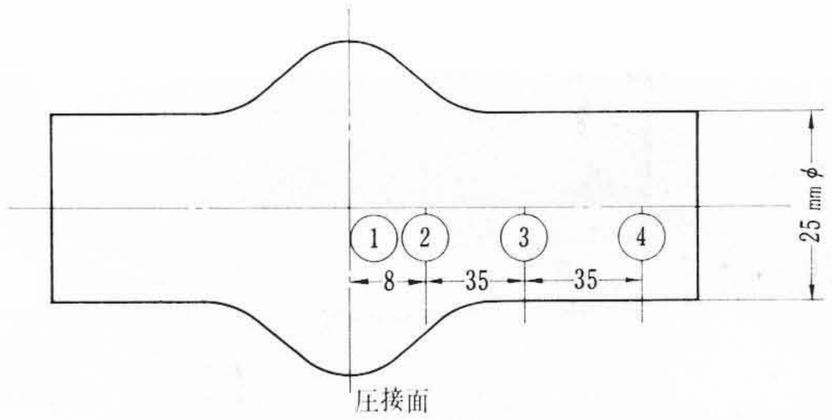
注：（1）　試験方法は JIS Z2248（曲げ試験法）にて行なった。（ただし試験片はふくらみの付いたままで行ない曲げ半径は 2d（d：母材径）

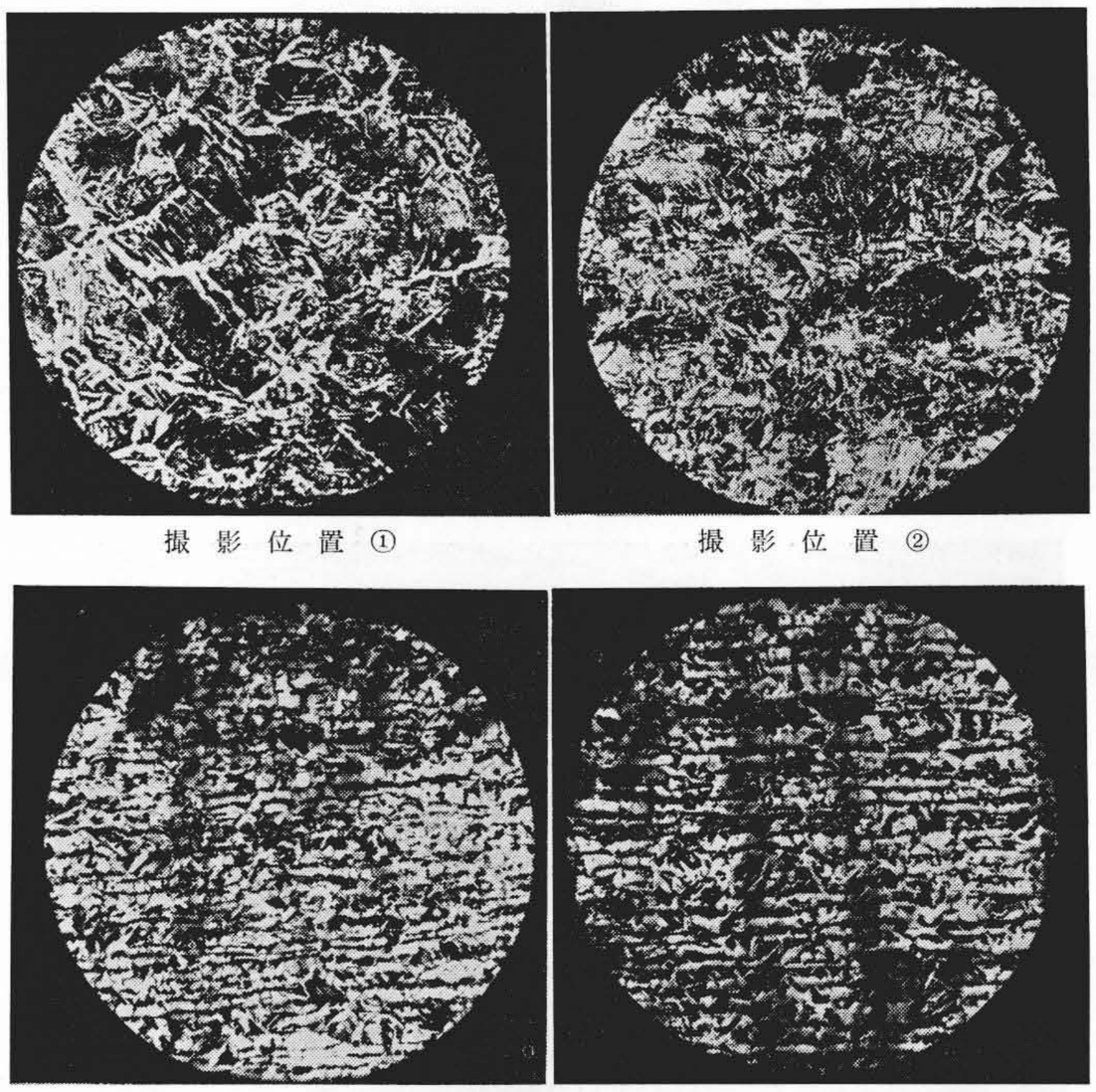
（2）　試験片の材質は異形鉄筋（SSD49 相当品）であり，鉄筋径は 22mmφ である。

が，鉄筋接合部を約 1,400℃ に加熱するためには大電流なら短時間，小電流ならば長時間を必要とする。しかし電流が過大な場合には接



第8図　加熱時間の強度試験



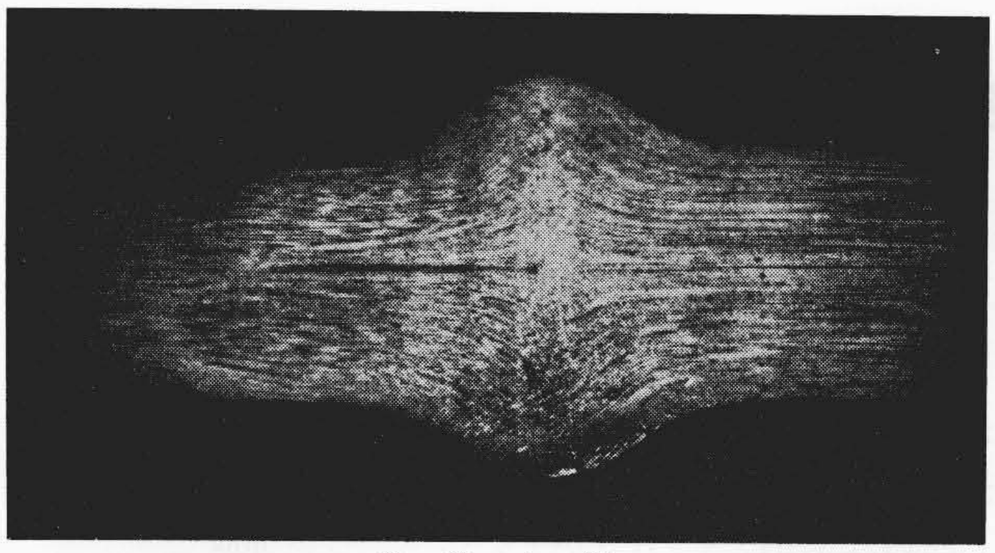


第9図　異形鉄筋顕微鏡組織（倍率 25 倍）

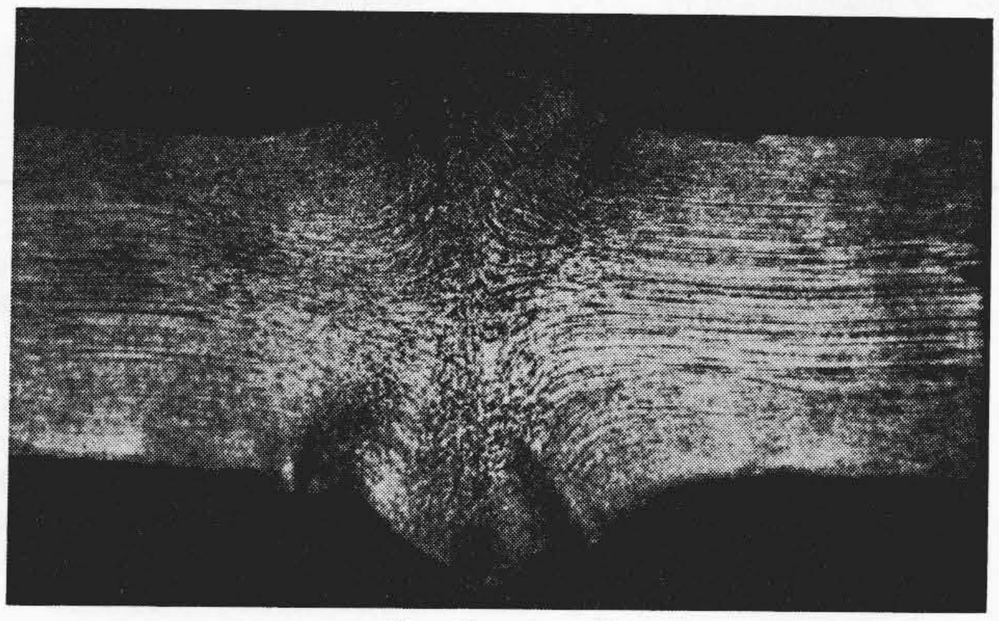
合部の温度上昇が急速になり適温の検出がむずかしく，電流が過小であると温度上昇過程が周囲条件に影響されるため適正電流範囲が存在する。電流値を変えた場合の圧接強度の実験結果は**第7図**のとおりで適正電流範囲は相当広く電流電圧の変動などを十分カバーすることができる。

4.3　加熱時間を変えた場合

実際作業のバラツキを考慮し，加熱時間を大幅に変えた場合の実験を行なった。その結果は**第3表**，**第8図**に示すとおりである。この結果より加熱時間の許容範囲は相当に広く，適正時間の ±20% 程度の変動があっても十分な圧接強度を有していることがわかる。



普　通　丸　鋼



異　形　丸　鋼

第 10 図　鉄筋接合部マクロ写真

第 4 表　各種異形鉄筋の実験

資料 No.	材質，寸法 (mmφ)	通電時間 (秒)	圧接部ふくらみ径 (mmφ)	試験 曲げ角度
1	異形鉄筋A SSD49 相当 22	38.5	37	170° まで無き裂
2	異形鉄筋A SSD49 相当 22	38.5	38	170° まで無き裂
3	異形鉄筋A SSD49 相当 22	30		170° まで無き裂
4	異形鉄筋A SSD49 相当 25	61	46	170° まで無き裂
5	異形鉄筋A SSD49 相当 25	62	43	170° まで無き裂
6	異形鉄筋B SSD49 相当 22	38.5	38	170° まで無き裂
7	異形鉄筋B SSD49 相当 22	35.5	41	170° まで無き裂
8	異形鉄筋B SSD49 相当 22	56	38	170° まで無き裂
9	異形鉄筋B SSD49 相当 22	54	38	170° まで無き裂
10	異形鉄筋B SSD49 相当 22	49	38.5	170° まで無き裂
11	異形鉄筋B SSD49 相当 22	35	38	170° まで無き裂
12	異形鉄筋C SD 40 相当 25	66	45	170° まで無き裂
13	異形鉄筋C SD 40 相当 25	65	44	170° まで無き裂
14	異形鉄筋C SD 40 相当 25	70	43	170° まで無き裂
15	異形鉄筋C SD 40 相当 25	70	45	170° まで無き裂
16	異形鉄筋C SD 40 相当 25	73	45	170° まで無き裂
17	異形鉄筋D SSD49 相当 25	65	44	170° まで無き裂
18	異形鉄筋D SSD49 相当 25	67	43	170° まで無き裂
19	異形鉄筋D SSD49 相当 25	64	45	170° まで無き裂
20	異形鉄筋D SSD49 相当 25	68	43.5	170° まで無き裂
21	異形鉄筋D SSD49 相当 25	70	44	170° まで無き裂

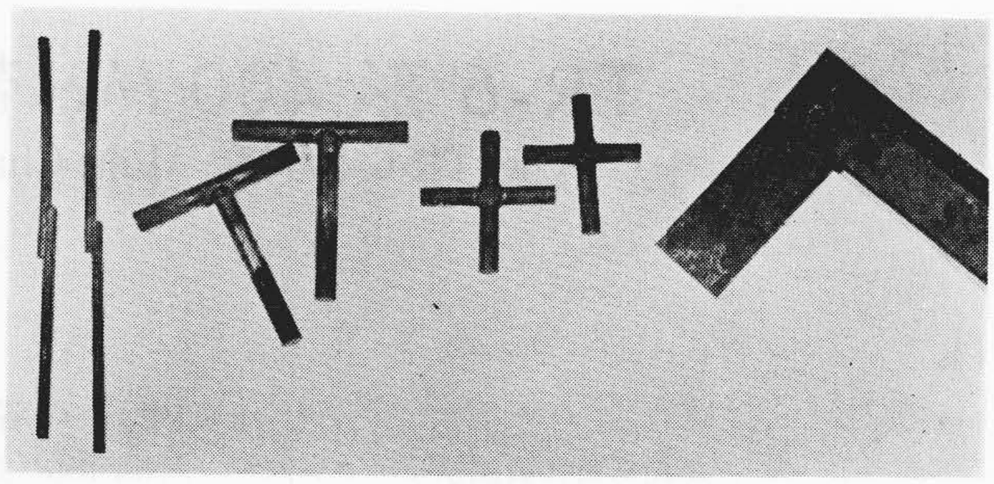
注：　試験方法は JIS Z 2248(曲げ試験法)にて行なった。ただし試験片はすべて母材径の 80% に加工した。曲げ半径は 2d (d：母材径)

4.4　接合部の組織

接合部のミクロ写真，マクロ写真を**第 9, 10 図**に示す。この結果より，中央部に近いところは粒子があらくなっているが強度的には問題がなく，マクロ写真でも接合部にはスラグが認められず確実に接合されていることがわかる。

4.5　各種異形鉄筋の圧接

鉄筋として断面形状のひずんだ異形鉄筋が多く使われるようにな



第 11 図　鉄筋接合以外の応用

第 5 表　一点当たり圧接コスト

鉄筋径 (mmφ)	電気圧接 (円) 電力料金	使用電力量料金	水道料金	消耗品償却費	工賃	合計
19	6.67	1.18	0.45	1.5	36	45.8
22	6.67	1.67	0.45	1.5	36	46.29
25	6.67	2.16	0.45	1.5	36	46.78
28	10.2	2.22	0.45	1.5	36	50.37
32	10.2	2.58	0.45	1.5	36	50.73

り，またその材質は高抗張力を得るための成分が各銘柄により異なるので，その影響を知るための実験を行ない**第 4 表**の結果を得た。各種の異形鉄筋につき十分な圧接強度が得られている。

5.　電気圧接コストについて

電気圧接のコストを構成する要素は電力料金，水道料金，消耗部品償却費および人件費である。計算基準として，電力基本料金 390 円/kVA•月，電力量料金 3.9 円/kWH，水道料金 12.5 円/m^3，消耗部品償却費 1.5 円/点，工賃 1,200 円/人•日，作業者 3 名，圧接点数 100 点/日，冷却水量 8 l/min，通電時間 0.7 分/点とし，径別にコストを求めると**第 5 表**のようになる。このコストは実用上十分に低く電気圧接機の設備費の回収を見込んでもすぐれた経済性を有しているということができる。

6.　鉄筋継長以外の応用

電気圧接は原理的に加熱圧接の 1 種であり，その用途は鉄筋の継長に限定されるものではない。

棒鋼，角鋼などの接合に応用し得ることはもちろんであるが，突き合わせ継手以外の応用の一例を**第 11 図**に示す。

(1)はリベットまたはカシメ作業への応用で通電加熱と加圧とを同時に行なえるのが特長であり，カシメ作業を迅速確実化することができる。(2)は十字継手，(3)は丁字継手，(4)は重ね継手で一般機械部品にも適用することが可能である。

7.　結　　言

新たに開発した電気圧接法につき機器の概要，圧接実験結果，圧接コストなどについて述べたがこれを要約すると次のとおりである。

(1)　圧接の最適温度を酸化被膜の状況より肉眼で容易に検出でき特殊な技術を必要としない。

(2)　鉄筋端面の状況，鉄筋の種類，電流値，加熱時間などの相当広い範囲で安定な圧接を行なうことができる。

(3)　圧接コストが低く経済的にもすぐれている。

(4)　鉄筋継長以外の鋼材接合部にも適用することができる。

この結果より電気圧接機の使用により鉄筋継長作業ならびに鋼材接合作業の合理化が可能である。

参　考　文　献

(1)　石野：　低圧電流による圧接工法の研究 (昭 33. 名工大)