U.D.C. 621. 791. 75 : 693. 554 : 621. 791. 019

清水建設研究所報
第10号昭和42年10月

アーク手溶接による鉄筋と鉄筋のフレアX型グルーブ溶接の溶け込み不足に関する実験

——鉄筋の接合に関する一連の研究 （その２）——

新 見 芳 男
藤 盛 紀 明

§ 1. 序

建築工事標準仕様書 JASS5. 9. 5 によれば，アーク手溶接による鉄筋用丸鋼（以下丸鋼という）の重ね継手は５Ｄ（Ｄは丸鋼の径）以上の溶接長をとるように定められている．丸鋼と丸鋼のフレアＸ型グルーブ溶接では必然的にルート部に溶け込み不足が生ずるため，のど厚の算定が困難である．そのため重ね長さと強度との関係について各所で[1)2)]実験が行なわれてきた．しかしながら溶接継手の強度はのど厚によって計算されるべきものであり，単に溶接長のみによって継手強度を確保しようとすることは危険あるいは不経済のいずれかを引き起こす可能性がある．

丸鋼と丸鋼のフレアＸ型グルーブ溶接においてもビード外観の寸法からのど厚を算定できれば便利である．

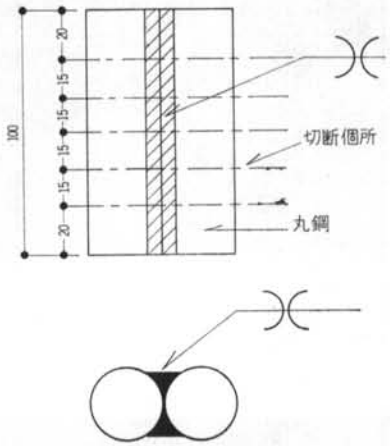
この実験は丸鋼と丸鋼のフレアＸ型グルーブ溶接において，丸鋼の径，アーク電流，溶接棒の径，溶接棒の種類，母材初温とルート部の溶着部分の大きさの関係を定量的に調べ，ビード寸法のみによってのど厚を算定するのが目的である．

§ 2. 試験体

長さ 100㎜ の丸鋼２本を治具を用いて接触させ表裏各１層盛りを行なった．このような試験片を丸鋼の径，アーク電流，溶接棒の径，溶接棒の種類の組合わせ１つについて各々３個作製した．この試験片の中央から15㎜厚の測定用試験体を各々４個切り出した．（図―1）

丸鋼は径13㎜，16㎜，19㎜，22㎜，25㎜の５種類，アーク電流は各溶接棒径について溶接棒メーカーの推奨する値の最大値，中間値，最小値の３種類（表―1），溶接棒の径は 3. 2㎜，4. 0㎜，5. 0㎜ の３種類，溶接棒の種類は JISZ3211 に規定される D4301（イルミナイト系），D 4303（ライムチタニア系）２種類について行なった．母材初温の影響を調べるために表側１層溶接後スラグを剝離し，ただちに裏側の溶接を行なった．（以下先に溶接した側を表側，後から溶接した側を裏側という）

溶接機は定格２次電流 500Ａ の可動鉄心型交流アーク溶接機を使用した．溶接工は JISZ3801 に規定される専門級Ａ―２Ｖ，Ｎ―２Ｖ合格者で経験５年である．溶接姿勢は下向とし，溶接速度，ウィービングは溶接工に一任した．極性は正極性で行なった．



図―1 試験体

溶接棒径（㎜）	最小値	中間値	最大値
3.2	110	130	150
4.0	150	170	190
5.0	170	210	270

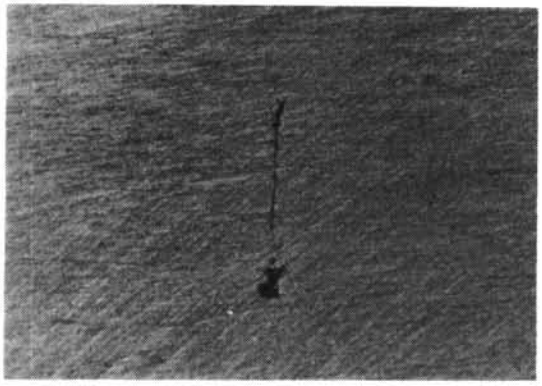
表―1 使用アーク電流（アンペア）

§ 3. 測定項目および測定方法

測定項目および測定器機を表―2に示す．

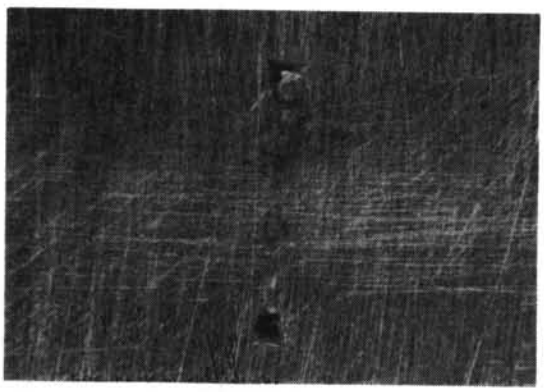
丸鋼径　19㎜
溶接棒　D4301（イルミナイト系）径5.0㎜
アーク電流　210A

写真—1　不溶着部分



丸鋼径　22㎜
溶接棒　D4301（イルミナイト系）径3.2㎜
アーク電流　150A

写真—2　不溶着部分



丸鋼径　25㎜
溶接棒　D4301（イルミナイト系）径5.0㎜
アーク電流　270A

写真—3　不溶着部分

No.	測定項目	測定器機
1	丸鋼径	ノギス
2	アーク電流・電圧	クランプメーター
3	溶接速度	ストップウオッチ
4	溶着金属量	直視天秤
5	ビッカース硬さ	マイクロビッカース
6	組織変化	肉眼，顕微鏡
7	不溶着部分の大きさ	ルーペ（×10）

表—2　測定項目および測定器機

§ 4.　測定結果および考察

4.1　不溶着部分の大きさ

一般に丸鋼と丸鋼のフレアX型グルーブ溶接の断面は**図—2**のようである．のど厚として，のど断面の力を受けもつ方向（y方向）の最小距離をとれば安全である．

したがって不溶着部分の大きさとしてx軸から最も遠い不溶着部分までの距離hを，見かけの脚長としてx軸から最も近いビード表面までの距離Sをとれば，のど厚aは見かけの脚長Sより不溶着部分の大きさhを差し引いた値である．

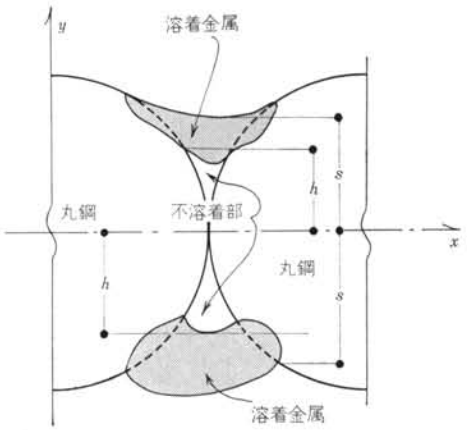
$$a = S - h \qquad \cdots\cdots(1)$$

写真—1，**写真—2**，**写真—3**に不溶着部分の実際の形状を示す．

4.1.1　アーク電流の影響

実験の結果から得られた不溶着部分の大きさとアーク電流の関係を**図—5**～**図—8**に示す．不溶着部分の大きさはアーク電流にほぼ比例して減少し，その比例関係は(2)式で表わされる．(2)式は最小二乗法によって求められたものである．

$$h \fallingdotseq -2.2I \times 10^{-2} + b \qquad \cdots\cdots(2)$$



図—2　不溶着部分の大きさh

h：不溶着部分の大きさ(mm)

I：アーク電流

b：丸鋼径，溶接棒径，溶接棒の種類，母材初温等によって決定される係数(mm)（表—3）

丸鋼径（mm） ＼ 溶接棒径（mm）	3.2	4.0	5.0
13	5.1	5.7	6.5
16	5.6	6.6	7.1
19	5.9	6.9	8.1
22	6.6	7.2	8.3
25	6.8	7.8	8.8

表—3 (2)式のb値
——D4301（イルミナイト系）溶接棒表側——

4.1.2 丸鋼径の影響

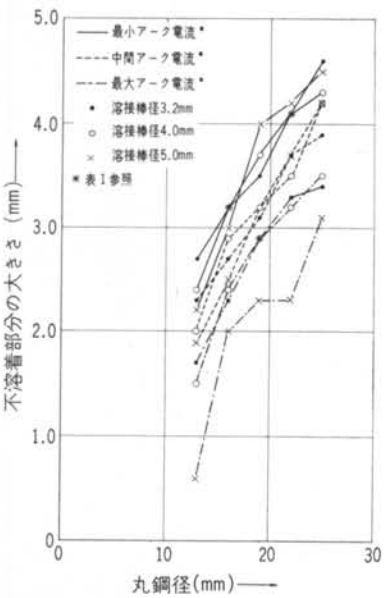
不溶着部分の大きさと丸鋼径の関係を図—3，図—4に示す．丸鋼が大きくなると不溶着部分の大きさは増大する．その関係は(3)式のような傾向を示している．

$$h=\frac{G}{1+e_{-r^{(D-q)}}} \qquad \cdots\cdots(3)$$

h：不溶着部分の大きさ

D：丸鋼径

G, r, q：アーク電流，溶接棒の径，溶接棒の種類，母材初温等によって決定される係数



図—3 不溶着部分の大きさ～丸鋼径 D4301（イルミナイト系）溶接棒表側

4.1.3 溶接棒径の影響

D4301（イルミナイト系）溶接棒，表側の場合を表—4に示す．不溶着部分の大きさは，丸鋼径が16mm以下の時は溶接棒径が1.0mm増すと，ほぼ0.6mm増大し，丸鋼径が19mm以上の時は溶接棒径が1mm増すと，ほぼ1mm増大する．

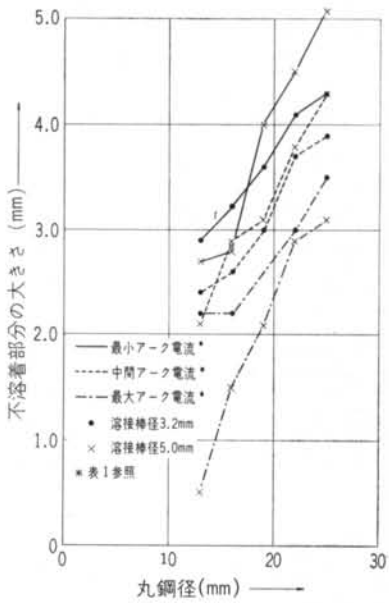
4.1.4 母材初温の影響

D4301（イルミナイト系）溶接棒の場合を表—5に示す．温度を測定していないので母材初温の影響は定量的にはわからないが，母材初温の高い方が不溶着部分の大きさは小さい．

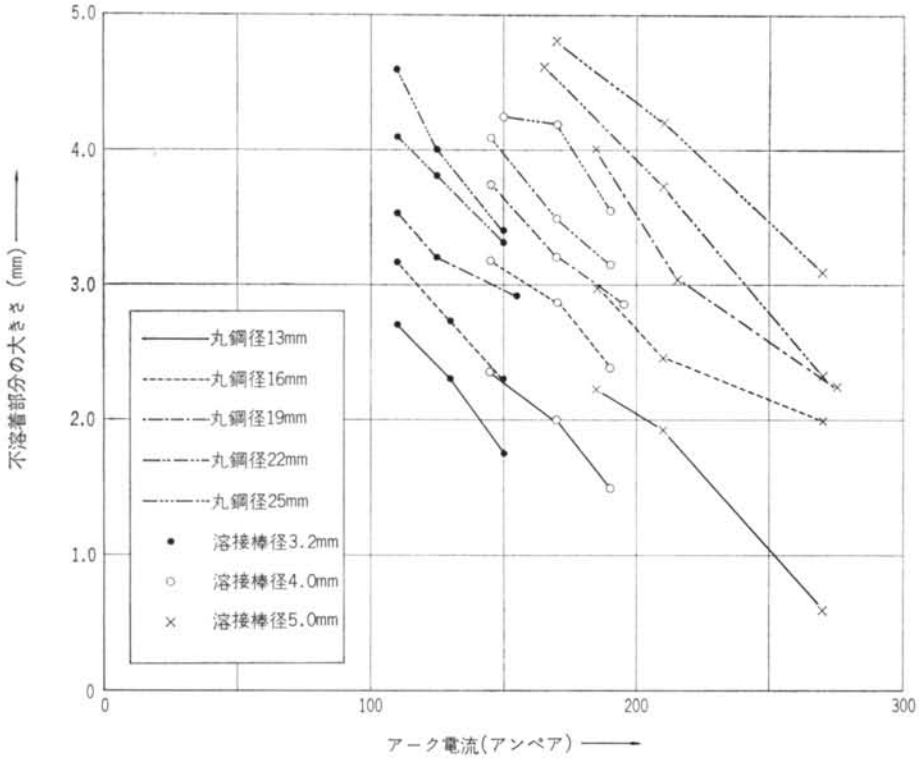
丸鋼径（mm） ＼ アーク電流（アンペア）	150	170
	A—B	(B—C)/0.8
13	0.6	0.6
16	0.5	1.0
19	0.9	0.9
22	1.0	0.9
25	1.0	1.0

A：溶接棒径5.0mmの不溶着部分の大きさ（mm）
B：溶接棒径4.0mm　不溶着部分の大きさ（mm）
C：溶接棒径3.2mmの不溶着部分の大きさ（mm）

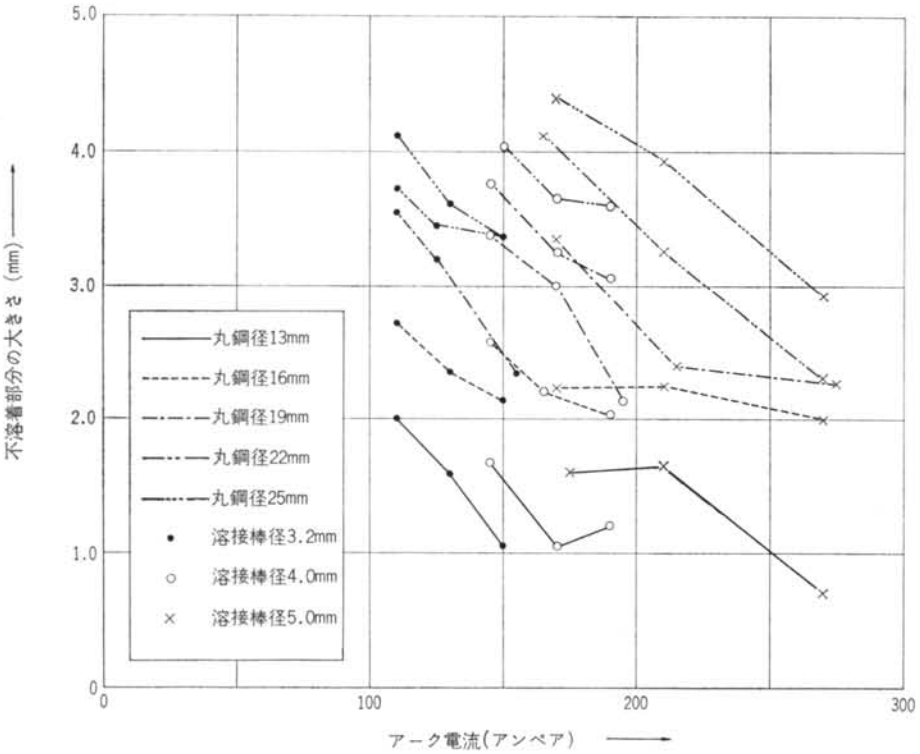
表—4 溶接棒径差1mmに対する不溶着部分の大きさの増分（mm）
——D4301（イルミナイト系）溶接棒表側——



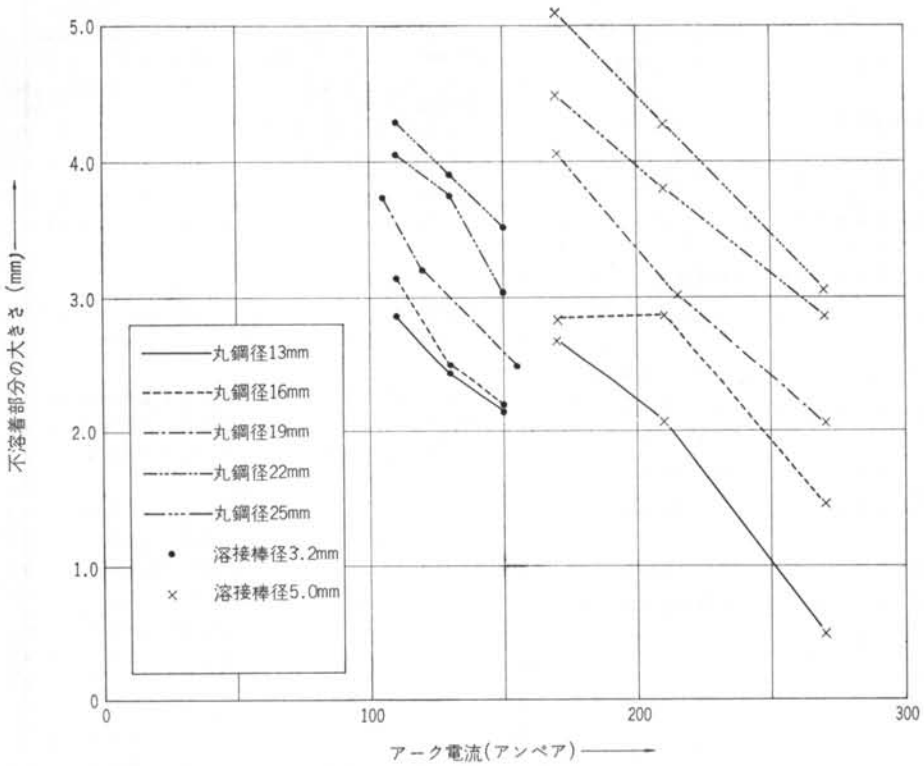
図—4 不溶着部分の大きさ～丸鋼径 D4303（ライムチタニア系）溶接棒表側



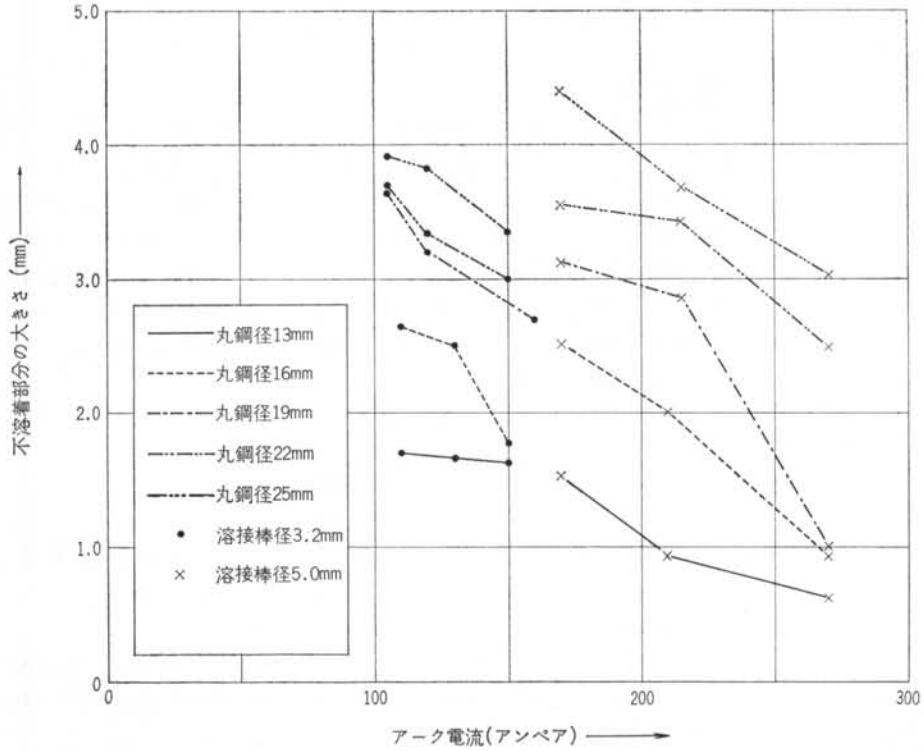
図—5 不溶着部分の大きさ～アーク電流　D4301（イルミナイト系）溶接棒表側



図—6 不溶着部分の大きさ～アーク電流　D4301（イルミナイト系）溶接棒裏側



図—7 不溶着部分の大きさ～アーク電流　D4303（ライムチタニア系）溶接棒表側



図—8 不溶着部分の大きさ～アーク電流　D4303（ライムチタニア系）溶接棒裏側

丸鋼径(mm)	溶接棒径(mm) / アーク電流(アンペア)	3.2			4.0			5.0		
		110	130	150	145	170	190	170	210	270
13	A—B	0.7	0.7	0.7	0.7	0.9	0.3	0.6	0.3	0
	B/A	0.7	0.7	0.6	0.7	0.6	0.8	0.7	0.8	1.0
16	A—B	0.5	0.4	0.2	0.6	0.7	0.4	0.8	0.3	0
	B/A	0.8	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.9	1.0
19	A—B	0	0	0.6	0.4	0.2	0.8	1.0	0.6	0
	B/A	1.0	1.0	0.8	0.9	0.9	0.7	0.8	0.8	1.0
22	A—B	0.4	0.4	0	0.3	0.2	0.1	0.4	0.4	0
	B/A	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0
25	A—B	0.5	0.4	0	0.2	0.6	0	0.4	0.6	0
	B/A	0.9	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0

A：表側の不溶着部分の大きさ(mm)
B：裏側の不溶着部分の大きさ(mm)

表—5 不溶着部分の大きさ～母材初温
——D4301（イルミナイト系）溶接棒——

4.1.5 溶接棒の種類の影響

D4301（イルミナイト系）溶接棒とD4303（ライムチタニア系）溶接棒の比較を**表—6**に示す．この２つの場合，余り差はみみられない．

丸鋼径(mm)	溶接棒径(mm) / アーク電流(アンペア)	3.2			5.0		
		110	130	150	170	210	270
13		0.9	1.0	0.8	0.8	0.9	1.2
16		1.0	1.1	1.0	1.0	0.9	1.3
19		1.0	1.0	1.2	1.0	1.0	1.0
22		1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.8
25		1.1	1.0	0.9	0.8	1.0	1.0

表—6 D4301（イルミナイト系）溶接棒の不溶着部分の大きさ
D4303(ライムチタニア系)溶接棒の不溶着部分の大きさ
——表側——

4.1.6 測定値のばらつき

測定値は組合わせ１つについて15個得られるが，平均的にみて，その内１つは非常に大きな値を，さらに１つは非常に小さな値を示している．これはスラグの巻込み，ブローホール，アークの不安定等によるものである．この２つを除いた残りの13個の標準偏差を**表—7**に示す．それらは平均的にみて0.3mmで条件の違いによる差は余りみられない．

	丸鋼径(mm)		13		16		19		22		25	
	溶接棒径(mm)	アーク電流(A)	hの平均(mm)	標準偏差(mm)	hの平均(mm)	標準偏差(mm)	hの平均(mm)	標準偏差(mm)	hの平均(mm)	標準偏差(mm)	hの平均(mm)	標準偏差(mm)
先に溶接した側	3.2	110	2.7	0.4	3.2	0.4	3.5	0.3	4.1	0.3	4.6	0.3
		130	2.3	0.2	2.7	0.3	3.2	0.2	3.7	0.2	4.0	0.2
		150	1.8	0.2	2.3	0.3	2.9	0.4	3.3	0.3	3.4	0.2
	4.0	145	2.4	0.3	3.2	0.2	3.7	0.4	4.1	0.1	4.2	0.2
		170	2.0	0.2	2.9	0.3	3.2	0.2	3.5	0.2	4.2	0.2
		190	1.5	0.3	2.4	0.1	2.9	0.3	3.3	0.2	3.6	0.4
	5.0	170	2.2	0.3	3.0	0.3	4.0	0.5	4.6	0.4	4.8	0.3
		210	1.9	0.3	2.5	0.3	3.0	0.1	3.7	0.3	4.2	0.2
		270	0.6	0.4	2.0	0.3	2.3	0.4	2.3	0.6	3.1	0.3
後から溶接した側	3.2	110	2.0	0.2	2.7	0.3	3.6	0.3	3.7	0.2	4.1	0.3
		130	1.6	0.2	2.4	0.3	3.0	0.2	3.5	0.4	3.6	0.3
		150	1.1	0.2	2.1	0.3	2.6	0.3	3.4	0.3	3.4	0.2
	4.0	145	1.7	0.4	2.6	0.2	3.4	0.2	3.8	0.2	4.0	0.2
		170	1.1	0.2	2.4	0.3	3.0	0.3	3.3	0.4	3.7	0.2
		190	1.4	0.4	2.0	0.4	2.1	0.1	3.1	0.3	3.6	0.3
	5.0	190	1.6	0.2	2.2	0.5	3.4	0.3	4.1	0.3	4.4	0.2
		210	1.7	0.8	2.3	0.6	2.4	0.5	3.3	0.4	3.9	0.4
		270	0.7	0.5	2.0	0.3	2.3	0.4	2.3	0.2	2.9	0.2

表—7 測定値の標準偏差
——D4301（イルミナイト系）溶接棒——

4.2 溶接速度

溶接速度は所定のアーク電流の下で最も溶接しやすいと思う速度で，という条件を与えて溶接工に一任した．この場合溶接工はスラグを巻込まず，良好なビード外観を得ることを目標とした．測定の結果を**図—9～図—12**に示す．溶接速度は次のような傾向を示している．

（ｉ） アーク電流に比例して増大する．その関係は(4)式のようである．

$$v = \frac{10}{7}\mathrm{I} + c \qquad \cdots\cdots(4)$$

v：溶接速度(mm/min)
I：アーク電流
c：溶接棒径，溶接棒種，丸鋼径，母材初温によって定められる係数(mm/min)

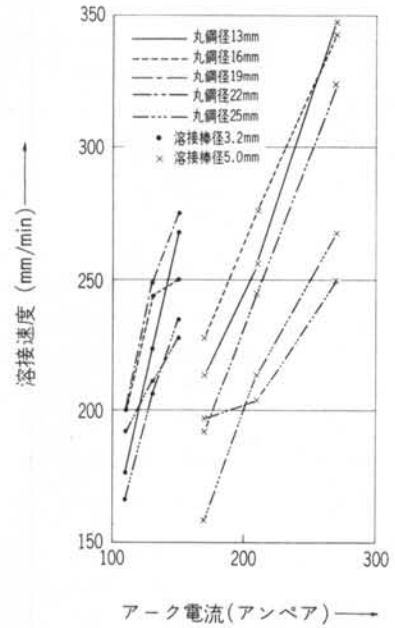
（ii） 母材初温の高い方が大きい

（iii） 丸鋼径の影響は溶接棒径が4.0mm以下では明確ではないが，溶接棒径が5.0mmの時は丸鋼径が大きくなると溶接速度は小さくなる．

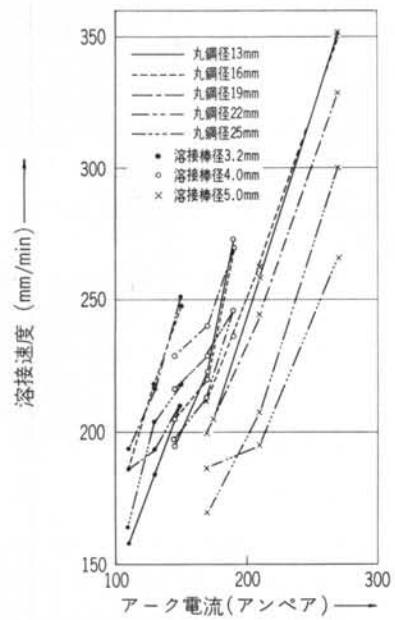
（iv） 溶接棒径が大きいほど小さい．

（v）イルミナイト系とライムチタニア系ではあまり差がない．ただし溶接棒径が3.2㎜で母材初温が低い時はライムチタニア系の方が大となる．

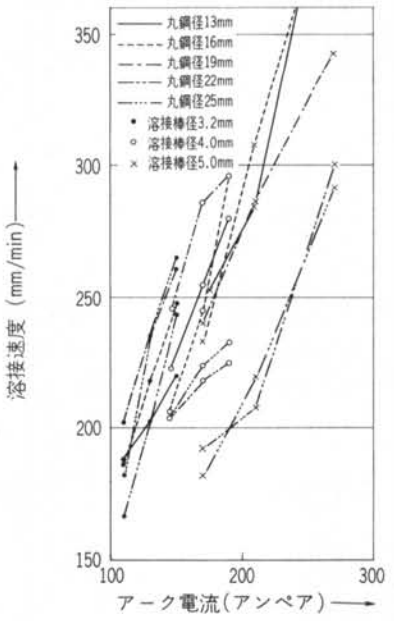
（i）は溶融量には関係するものである．他の条件が同一ならば単位時間当りの溶融量はアーク電流に比例する．（ii）は熱の伝達（発散）に関係するものである．アーク周辺の温度が高ければ熱の発散が防止され，棒の溶融に寄与する電気的熱量の効率が上昇する．（iii）は熱の発散および必要溶着金属量に関係するものである．丸鋼径が大きいほど熱容量が大となり，熱の発散が大となる．また丸鋼径が大きいほど開先形状が大となり，必要溶着金属量が大となる．（iv）は溶融量に関係するものである．他の条件が同一ならば単位時間当りの溶融量は溶接棒径に比例する．



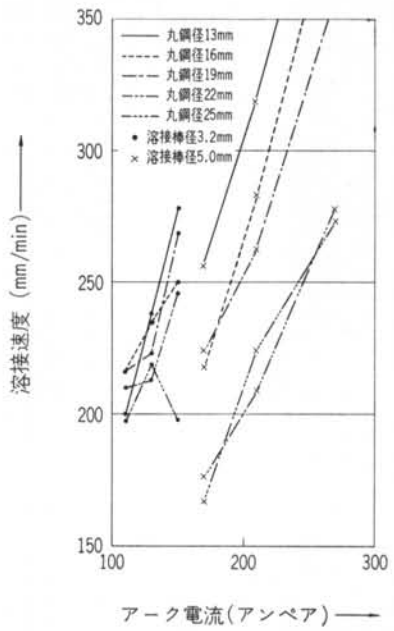
図—9　D4301（イルミナイト系溶接棒）表側の溶接速度



図—10　D4301（イルミナイト系溶接棒）裏側の溶接速度



図—11　D4303（ライムチタニア系溶接棒）表側の溶接速度



図—12　D4303（ライムチタニア系溶接棒）裏側の溶接速度

4.3 溶着速度

溶接棒の溶融速度は単位時間当りに消費された溶接棒の長さまたは重量で表わされる．一般にある溶接棒の溶融速度はアーク長さ（アーク電圧）には無関係で，アーク電流にほぼ比例する．アーク長さにほとんど無関係である理由は，棒の溶融が陽極または陰極降下に伴なう電力によるもので，アーク柱の部分の電圧降下には関係しないためである．溶融速度と溶着速度は等しくない．これはスパッタによる損失があるためである．

したがって被覆アーク溶接棒の溶着速度 V_W は(5)式で表わされる．

$$V_W = M_W I - L_W \qquad \cdots\cdots(5)$$

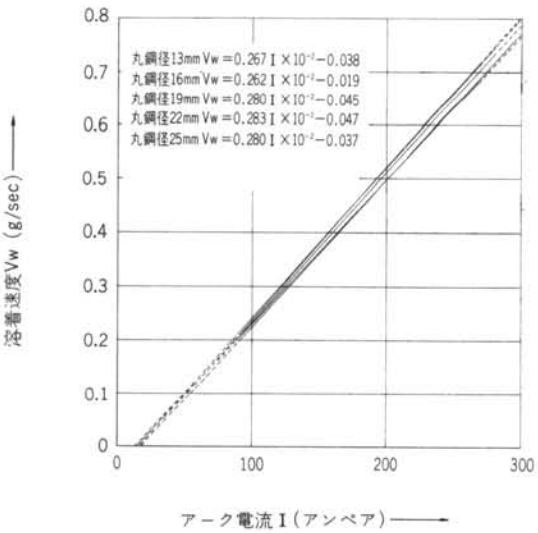
V_W：溶着速度(g/sec)

M_W：溶着効率(g/sec・アンペア)

L_W：溶着損失率(g/sec)

I：アーク(電流アンペア)

本実験の範囲では，M_W は 2.6×10^{-3}～2.8×10^{-3} (g/sec・アンペア)，L_Wは 2×10^{-2}～4×10^{-2}(g/sec)である．本実験で求められた(5)式のグラフを**図—13**示す．



図—13 V_w～I

溶着金属はそのすべてが，のど厚に対して有効ではない．今(6)に示すようなのど厚効率ηを考える．

$$\eta = \frac{a}{A} \qquad \cdots\cdots(6)$$

η：のど厚効率(1/mm)

a：のど厚　(mm)

A：全溶着断面積(mm²)

ηは丸鋼の径，余盛，不溶着部分の形状，のど厚等によって定まるものである．本実験の範囲では，ηはほぼ0.15(1/mm)である．

今第 i 層目の溶着速度を V_{Wi}(g/sec)，溶接速度を v_i(mm/sec)，鉄の比重を ρ(g/cm³) とすると，n 層盛りの溶接断面積 A_n(mm²)は(7)式で求められる．

$$A_n = \sum_{i=1}^{n} \frac{V_{Wi}}{v_i \cdot \rho} \times 10^3 \qquad \cdots\cdots(7)$$

(5)，(6)，(7)式よりのど厚 a あるいは必要盛り数 n を予想することができる．

一般の溶接においては設計の指示によって η を容易に計算することができる．(この場合は(6)式の a のかわりに脚長Sを使用する方が便利である)．この時溶着速度 V_Wがわかっておれば，溶接速度 v を決定することによって盛り数 n を決定することができる．

4.4 ビッカース硬さその他

今実験で得られたビッカース硬さ H_V(10kg) の最高値は240で問題はない．顕微鏡組織も通常の溶接組織のようで，マルテンサイト等の特異な組織は発見されず良好である．切断面のマクロ検査の結果，アンダーカット，スラグの巻き込み等がみられる．D4301（イルミナイト系）溶接棒の場合の切断面を，**写真—4**から**写真—48**に示す．

§ 5. のど厚の計算と溶接長

のど厚 a は前掲(1)式で計算される．h はこの実験で得られた不溶着部分の大きさで，Sは見かけの脚長でビード外観より容易に測定し得る値である．

○のど厚の計算例

丸鋼19mm 2本を重ね，両面すみ肉溶接する．初層の溶接にD4301(イルミナイト系)溶接棒，径3.2mmを使用し，アーク電流 130A で溶接を行ない，鉄筋半径まで盛る．

図—3より　h＝3.2mm

安全をみて　h'＝3.2mm＋(表7の標準偏差)＝3.4mm

S＝9.5mm

(1)式より　$a = S - h' = 6.1\text{mm} \fallingdotseq 6.0\text{mm}$

丸鋼を両面溶接した重ね継手の場合，部材の回転がなく溶接部にせん断力のみ働くものとすると溶接部で切断しないための条件は(8)式のようである．

$$2\alpha D a \tau > \frac{\pi}{4} D^2 \sigma_t \qquad \cdots\cdots(8)$$

αD：片面の溶接長

D：丸鋼の径

α：溶接長を丸鋼の倍数で表わすための係

数（以下溶接長係数という）

a ：のど厚

τ ：溶着金属の許容せん断応力度

σ_t：丸鋼の許容引張応力度

$\frac{\sigma_t}{\tau}=\sqrt{3}$ とすると(1)式と(8)式から

$$\alpha > \frac{0.7D}{S-h} \qquad \cdots\cdots(9)$$

丸鋼半径まで盛った場合，すなわちS＝0.5Dの時の必要な溶接長係数 $\alpha_{S=0.5D}$ は

丸鋼径(mm) ＼ 溶接棒径(mm)	3.2			4.0			5.0		
アーク電流	110	130	150	145	170	190	170	210	270
13	2.4	2.2	1.9	2.2	2.0	1.8	2.1	2.0	1.5
16	2.3	2.1	2.0	2.3	2.2	2.0	2.3	2.1	1.9
19	2.3	2.1	2.1	2.3	2.2	2.1	2.5	2.1	1.9
22	2.3	2.2	2.0	2.3	2.1	2.0	2.5	2.2	1.8
25	2.3	2.1	2.0	2.2	2.2	2.0	2.3	2.2	1.9

表—8本実験のhから求めた，必要な溶接長係数$\alpha s=0.5D$
——D4301（イルミナイト系）溶接棒　表側——

丸鋼径(mm) ＼ 溶接棒径(mm)	3.2			4.0			5.0		
アーク電流	110	130	150	145	170	190	170	210	270
13	0.35	0.32	0.29	0.33	0.30	0.26	0.32	0.29	0.19
16	0.34	0.31	0.29	0.34	0.32	0.29	0.33	0.30	0.27
19	0.33	0.30	0.30	0.34	0.31	0.30	0.35	0.30	0.27
22	0.33	0.31	0.29	0.32	0.30	0.29	0.35	0.31	0.25
25	0.33	0.30	0.28	0.31	0.31	0.29	0.34	0.31	0.27

表—9本実験のhから求めた，必要な脚長係数 $\beta\alpha=5$
——D4301（イルミナイト系）溶接棒　表側——

丸鋼径(mm) ＼ 溶接棒径(mm)	3.2			4.0			5.0		
アーク電流	110	130	150	145	170	190	170	210	270
13	0.45	0.44	0.45	0.46	0.42	0.45	0.45	0.45	0.46
16	0.40	0.38	0.39	0.40	0.41	0.40	0.42	0.41	0.42
19	0.35	0.32	0.35	0.37	0.37	0.37	0.38	0.38	0.39
22	0.34	0.34	0.35	0.36	0.35	0.35	0.37	0.37	0.38
25	0.33	0.31	0.32	0.33	0.31	0.32	0.34	0.35	0.36

表—10　本実験（1層）の$\frac{S}{D}=\beta$
——D4301（イルミナイト系）溶接棒　表側——

$$\alpha_{S=0.5D} > \frac{0.7D}{0.5D-h} \qquad \cdots\cdots(10)$$

本実験で求めたhに対して$\alpha_{S=0.5D}$を求めると**表—8**のようになる．表からわかるように，丸鋼半径まで盛った重ね継手の場合，溶接が完全であれば溶接長は2.5Dで十分である．

見かけの脚長Sを鉄筋径Dの倍数(脚長係数)(S＝βD)として表示すれば(9)式から

$$\beta > \frac{0.7}{\alpha}+\frac{h}{D} \qquad \cdots\cdots(11)$$

JASS5の規定のごとく$\alpha=5$とすると(11)式は

$$\beta\alpha_{=5} > 0.14+\frac{h}{D} \qquad \cdots\cdots(12)$$

本実験で求めたhに対して$\beta\alpha_{=5}$を求めると**表—9**のようになる．表からわかるように溶接長を5Dとした時の見かけの脚長Sは，溶接が完全であれば，鉄筋径の0.35倍で十分である．

本実験(1層盛り)の脚長係数β＝S/Dは**表—10**のようである．この場合溶接部分の強度は丸鋼径13mm，16mmでは十分安全であるが，19mm以上では余裕がない．

§6. あとがき

近年建設界では部分的あるいは全体的な組立工法が普及し，その接合部に鉄筋の溶接を使用することも多い．鉄筋の重ね継手の場合，〝溶接長5D〟で管理する方法は現実的ではあるが溶接の条件は無数であり，同じ溶接長でもその強度（のど厚）は溶接条件によって異なるものと思われる．時として建設現場では〝溶接長5D〟を得ることが困難になる場合も生ずると予想される．それゆえそれらを一律に〝溶接長5D〟で管理することは危険あるいは不経済のいずれかを引き起こす可能性がある．

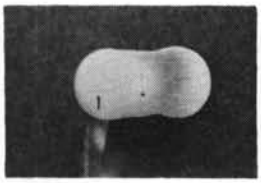
本来溶接継手の強度はのど厚によって算定されるべきものであり，たとえ溶接長をもって継手強度を管理する場合でも，その根拠としてのど厚を明確にしておく必要があるものと思われる．

今回の実験によって，鉄筋の重ね継手（丸鋼と丸鋼のフレアX型グループ溶接）の不溶着部分の大きさと溶接条件の関係が一応定量的に明らかになった．これによってビード外観の寸法を測定することだけで容易にのど厚を算定することが可能である．

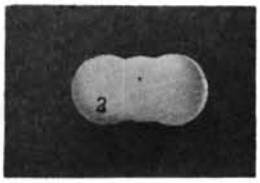
しかしこの実験で得られた結果は不溶着部分の大きさであり，それによって算出されるのど厚である．一般にルート部の溶け込み不足は溶接欠陥とみなされるもので

あり，その強度とのど厚の関係は荷重試験によって確認されねばならない．

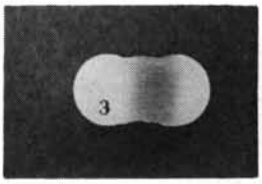
また鉄筋の重ね継手の破断は溶接終始端の欠陥で起こることが多いし，冶金的あるいは力学的な問題もまだ多く残されている．今後はこれらの問題を追求して行きたい．



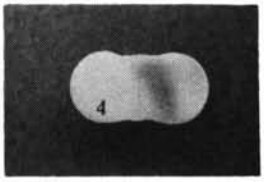
写真—4 丸鋼径13mm
溶接棒径3.2mm アーク電流110A



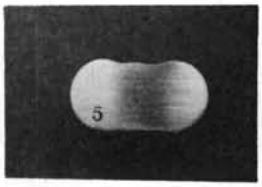
写真—5 丸鋼径13mm
溶接棒径3.2mm アーク電流130A



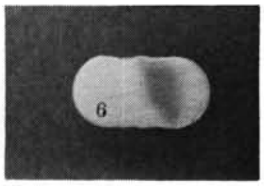
写真—6 丸鋼径13mm
溶接棒径3.2mm アーク電流150A



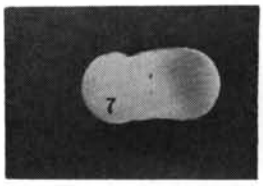
写真—7 丸鋼径13mm
溶接棒径4.0mm アーク電流150A



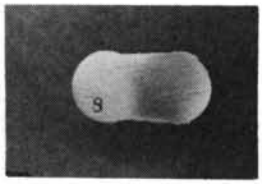
写真—8 丸鋼径13mm
溶接棒径4.0mm アーク電流180A



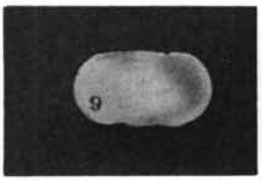
写真—9 丸鋼径13mm
溶接棒径4.0mm アーク電流190A



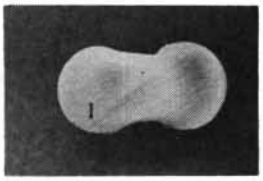
写真—10 丸鋼径13mm
溶接棒径5.0mm アーク電流170A



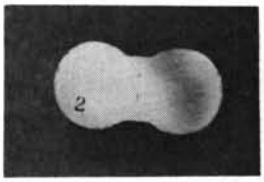
写真—11 丸鋼径13mm
溶接棒径5.0mm アーク電流210A



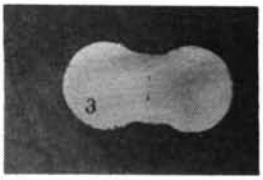
写真—12 丸鋼径13mm
溶接棒径5.0mm アーク電流270A



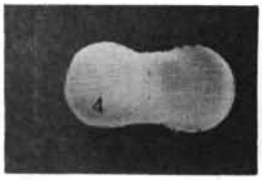
写真—13 丸鋼径13mm
溶接棒径3.2mm アーク電流110A



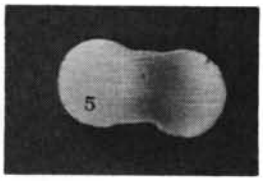
写真—14 丸鋼径16mm
溶接棒径3.2mm アーク電流130A



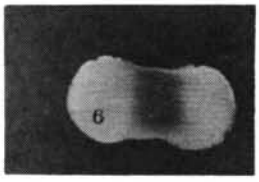
写真—15 丸鋼径16mm
溶接棒径3.2mm アーク電流150A



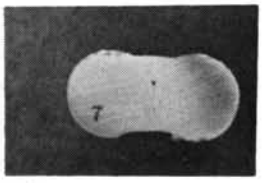
写真—16 丸鋼径16mm
溶接棒径4.0mm アーク電流150A



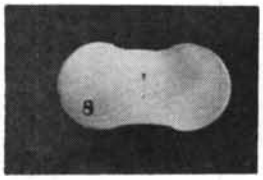
写真—17 丸鋼径16mm
溶接棒径4.0mm アーク電流170A



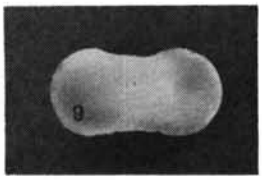
写真—18 丸鋼径16mm
溶接棒径4.0mm アーク電流190A



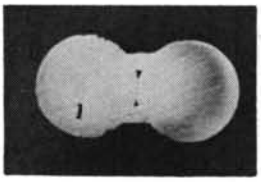
写真—19 丸鋼径16mm
溶接棒径5.0mm アーク電流170A



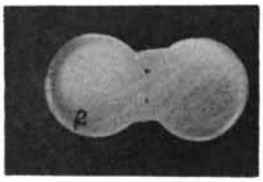
写真—20 丸鋼径16mm
溶接棒径5.0mm アーク電流270A



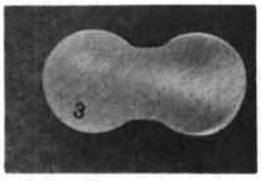
写真—21 丸鋼径19mm
溶接棒径3.2mm アーク電流110A



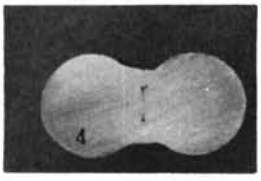
写真—22 丸鋼径19mm
溶接棒径3.2mm アーク電流110A



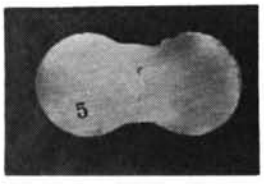
写真—23 丸鋼径19mm
溶接棒径3.2mm アーク電流110A



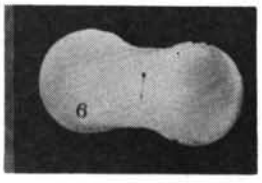
写真—24 丸鋼径19mm
溶接棒径3.2mm アーク電流150A



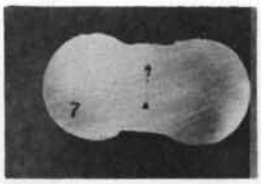
写真—25 丸鋼径19mm
溶接棒径4.0mm アーク電流150A



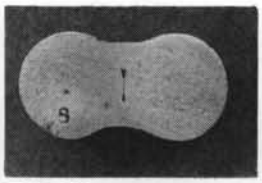
写真—26 丸鋼径19mm
溶接棒径4.0mm アーク電流170A



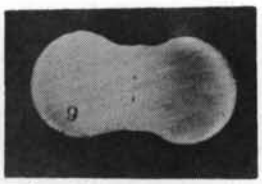
写真—27 丸鋼径19mm
溶接棒径4.0mm アーク電流190A



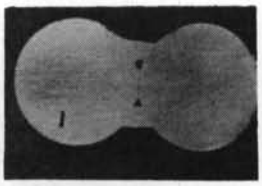
写真—28 丸鋼径19mm
溶接棒径5.0mm アーク電流170A



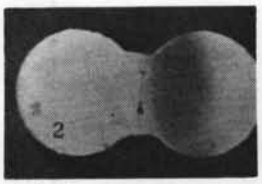
写真—29 丸鋼径19mm
溶接棒径5.0mm アーク電流210A



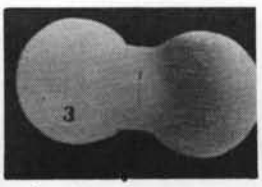
写真—30 丸鋼径19mm
溶接棒径5.0mm アーク電流270A



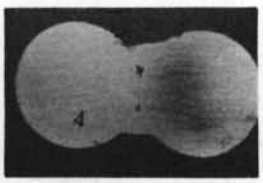
写真—31 丸鋼径22mm
溶接棒径3.2mm アーク電流110A



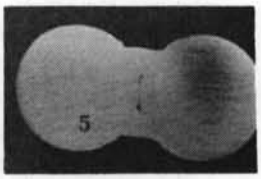
写真—32 丸鋼径22mm
溶接棒径3.2mm アーク電流130A



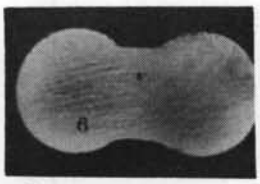
写真—33 丸鋼径22mm
溶接棒径3.2mm アーク電流150A



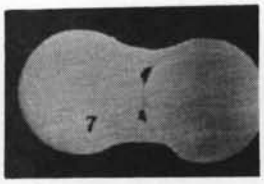
写真—34 丸鋼径22mm
溶接棒径4.0mm アーク電流150A



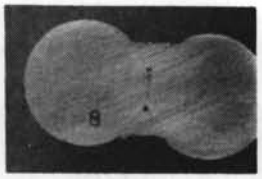
写真—35 丸鋼径22mm
溶接棒径4.0mm アーク電流170A



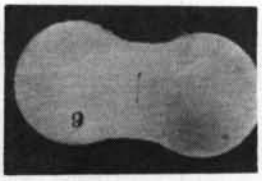
写真—36 丸鋼径22mm
溶接棒径4.0mm アーク電流190A



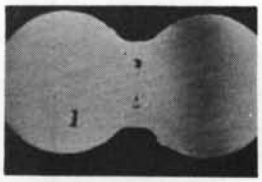
写真—37 丸鋼径22mm
溶接棒径5.0mm アーク電流170A



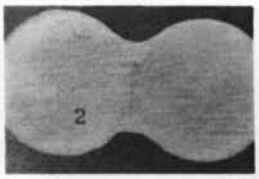
写真—38 丸鋼径50mm
溶接棒径5.0mm アーク電流210A



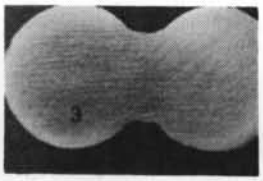
写真—39 丸鋼径22mm
溶接棒径5.0mm アーク電流270A



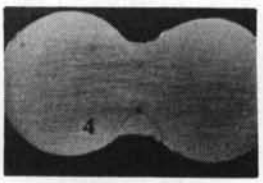
写真—40 丸鋼径25mm
溶接棒径3.2mm アーク電流110A



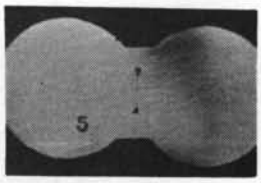
写真—41 丸鋼径25mm
溶接棒径3.3mm アーク電流130A



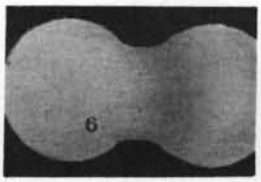
写真—42 丸鋼径25mm
溶接棒径3.2mm アーク電流150A



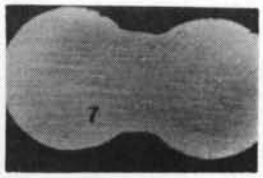
写真—43 丸鋼径25mm
溶接棒径4.0mm アーク電流170A



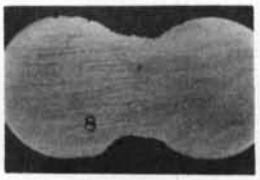
写真—44 丸鋼径25mm
溶接棒径4.0mm アーク電流170A



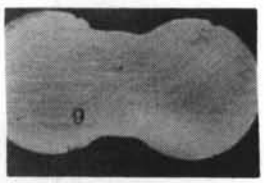
写真—45 丸鋼径25mm
溶接棒径4.0mm アーク電流190A



写真—46 丸鋼径25mm
溶接棒径5.0mm アーク電流170A



写真—47 丸鋼径25mm
溶接棒径5.0mm アーク電流210A



写真—48 丸鋼径25mm
溶接棒径5.0mm アーク電流270A

＜参考文献＞

1) 神谷大美：“電気熔接を用ひたる鉄筋コンクリート構造法に関する研究”日本建築学会論文集 第2号 昭和15年2月 P158
2) 鶴田明：“鉄筋熔接に関する研究”建築雑誌 昭和14年6月 P809
3) 溶接棒 Hand Book：“八幡溶接棒”
4) “軽量鉄骨建築の溶接 ”日本軽量鉄骨建築協会
5) 渡辺正紀他：“溶接力学とその応用”
6) 岡本正三：“鉄鋼材料”
7) 佐藤知雄：“鉄鋼の顕微鏡写真と解説”
8) 岡田実他：“溶接冶金”
9) “溶接便覧”，溶接学会
10) “溶接棒の選び方使い方 ”日本溶接協会
11) 木原 博：“新しい溶接工学”
12) “溶接工作基準・同解説 ”建築学会
13) 渡辺省三他：“軟鋼の組織と性質”
14) 関口春次郎：“鋼材鍛接理論・提案及び応用”
15) “薄板鋼構造計算規準・同解説 ”建築学会
16) “鋼構造計算規準・同解説 ”建築学会
17) “溶接規格要覧”，日本溶接協会規格委員会
18) 中根金作，大谷 碧：“溶接接手の強度 ”日本溶接協会
19) “壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造設計規準・同解説 ”日本建築学会
20) Muiler. Robenack：“Schweissen im Stahlbeton und Montagebau.”
21) 橋口隆吉：“金属学ハンドブック”
22) 川田雄一他：“材料強度工学ハンドブック”
23) “溶接便覧”：溶接学会
24) “ヤハタ Hand book' 66 ”八幡溶接棒株式会社
25) 新見，藤盛，立部：“アーク手溶接による鉄筋と鋼板のフレアグループK溶接の溶け込み不足に関する実験”清水建設研究所報，第9号，1967.4
26) “建築工事標準仕様書 JASS 5”日本建築学会