

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

— 鉄筋の接合に関する研究 その1 —

新見 芳男
藤 盛 紀 明
立 部 正 則

§1. 序

近年建設界においては、プレファブ化が進み、プレキャスト版のみによって建築物を構成する、いわゆる壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造（PC版プレファブ）が出現している。これらの部材の接合には、アーク手溶接が多く使用され、とくに丸鋼の接合が構造的に非常に重要な位置を占めてきている。PC版プレファブの継手に使用されるセッティングベースは、コンクリートへのアンカーとなる丸鋼を鋼板にアーク手溶接によって溶接するもので、PC版プレファブ構造の要である。

丸鋼の接合にアーク手溶接を利用することはすでに古くから行なわれ、それについての研究も古くから行なわれている¹⁾。しかしこれらは、溶接のもつ多くの問題を無視して、溶接長のみによって、接合強度を確保しようとする方法である。

丸鋼と鋼板のアーク手溶接は、軽量鉄骨の溶接に類するもので、断面が曲面を持っているため、溶接技術上種々の問題があり、その問題は溶接機および溶接用具、溶接棒、溶接作業条件、溶接工、溶接施工等、溶接のすべてにわたっている。丸鋼と鋼板、丸鋼と丸鋼のフレアグループKおよびX溶接では、必然的にルート部に溶け込み不足が生ずる。

薄板鋼構造計算規準においては、丸鋼と鋼板のフレアグループK溶接の設計寸法であるサイズSとして、鋼板の板厚tをそのままとって $S=t$ とし、のど厚を鋼構造計算規準どおり $a=0.7S$ とする簡便方法が採用されている。しかしこれは板厚4mm未満の鋼板に適用される規定である。

板厚が9mm以上の鋼板に薄板鋼構造の規定を適用することは、非常に危険か、不経済のいずれかを引き起こす可能性がある。しかしのど厚の算定にあたって、その条件ごとに切断面をとり出して実測することは、非常に繁雑であるし、行なわれ難いことでもある。また溶接長のみによって耐力を規定することも不安なことである。

したがって丸鋼と比較的厚い鋼板のフレアグループK溶接では、溶接条件による溶け込み不足量を統計的に調査しビード外観の寸法を測定することによってのど厚を決定する必要がある。

現在、この種のデータで纏まって公表されたものはない。ここにわれわれのデータを提出し、あわせてのど厚算定の一方法を提案してご批判を仰ぐとともに、この種のデータが数多く公表されることを望むものである。

§2. 目 的

この実験の目的は、丸鋼と鋼板のフレアグループK溶接において、溶接作業条件のルート部の溶け込み不足量におよぼす影響を調べ、のど厚を算定することにある。

そのうち今回は、溶接電流、丸鋼径とルート部の溶け込み不足量の関係を調べた。溶接棒は、その径によって適用電流範囲が定っており、溶接電流を変化させることは溶接棒径を変化させることになる^{注1)}。

丸鋼と鋼板との接合で丸鋼径の相違は開先形状の相違とも考えられる。そのためこの実験では、径13mm～25mmの5種類の丸鋼に、径3.2mm～6.0mm（電流にして150～310アンペア）の4種類の溶接棒を組合わせて実験を行なった。

溶接電流は、溶接棒径に定められた電流範囲のうち最大のものを採用した。

§3. 試験体製作

3.1 材質

丸鋼はSR24相当品、鋼板はSS41相当品。

注1) 各々の溶接棒径の適用電流の幅は30～60アンペアである。

3.2 試験体形状

図-1に示すように、厚9mm、150mm×150mmの

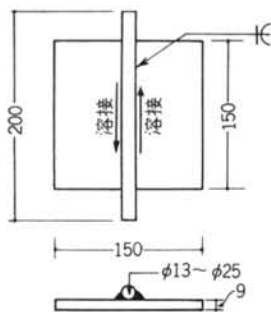


図-1 試験体形状

鋼板の中央に丸鋼を置き、両面すみ肉で溶接する。中央付近より厚10mmのものを各々3本切取って試験体とした。

丸鋼は径、13mm、16mm、19mm、22mm、25mmの5種類である。

3.3 溶接条件

3.3.1 溶接棒：

Y社製イルミナイト系(D4301)溶接棒を使用した。溶接棒径は3.2mm、4.0mm、5.0mm、6.0mmの4種類である。この溶接棒は、溶接性の良好なオールポジション用溶接棒で、アークの状態がよく、ビードの波は、平らで使いやすい。またスラグのかぶりは一均一で、剝離性も良好である。

この溶接棒の溶着金属の化学成分、機械的性質、溶接電流範囲を、表-1、表-2、表-3に示す³⁾。

	降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	衝撃値 kg-m/cm ²
範囲	38~43	45~50	25以上	13以上
1例	40.5	47.8	27.0	16.2

表-1 機械的性質

	C	Si	Mn	P	S	Cu
範囲	0.11 以下	0.11 以下	0.37 ~0.57	0.025 以下	0.018 以下	0.15 以下
1例	0.08	0.07	0.43	0.013	0.014	0.10

表-2 溶着金属の化学成分(%)

棒径 mm	2.6	3.2	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	
棒長 mm	300	350	400	400	400	450	450	450	
溶接姿勢	下向	70 ~110	110 ~150	150 ~190	170 ~210	190 ~240	250 ~310	320 ~390	370 ~440
	立上	50~90	80 ~120	110 ~160	130 ~170	140 ~190	—	—	—

表-3 溶接電流範囲A.C. D.C

軽量鉄骨用溶接棒の具備すべき性能は、一般に次のようにいわれている。

- A. 信頼のおける溶接部が得られること。
- B. 作業が容易であること。
- C. ビード外観が美しいこと。
- D. アンダーカットが生じにくいこと。
- E. 溶込みが適度であること。
- F. スラグの巻込みがなく剝離のよいこと。
- G. アークの再発生のよいこと。

これらの条件をもとに、現在の国産品の品質から溶接棒を選択すれば、

I形突合わせには D4316(低水素系)、その他の溶接継手には D4303(ライムチタニア系)、D4301(イルミナイト系)が挙げられる。

低水素系の棒は強度も高く、伸びも大きく耐亀裂性に優れ、とくに溶込みが深い、アンダーカットができやすく、ビードの形状も乱れがちである。ライムチタニア系の棒は一応の強度を持ち、美しい波形が得られ、アンダーカットもほとんどおこらないが、溶け込みが余り多くない。

イルミナイト系の棒は、とくにこれといってあげるような長所がないかわりに欠点もなく、何に用いても一応差支えない程度の結果が得られる。この棒はわが国で発達した独自のものであって、最も普及しているため、この溶接棒に馴れている溶接工の数も多い。建設現場の溶接工も、大方この棒には習熟しているので、今回の実験にはこの棒を採用した。しかし、丸鋼に最も適した溶接棒および、その具備すべき条件はさらに研究されねばならないものである。

3.3.2 溶接機：

可動鉄心型交流アーク溶接機で、表-4に示す容量もっている。

容量	500A
一次入力	45KVA
二次電流範囲	100~500A
無負荷電圧	85V
定格負荷電圧	40V

表-4 使用溶接機の容量

3.3.3 溶接工：

JISZ 3801規格の専門級A-2V、N-2Vに合格した

もので、溶接経験5年である。

3.3.4 溶接電流：

溶け込みを多くするために、メーカーの指定する溶接電流範囲の中の最大で行なった。(表-1, 図-2)

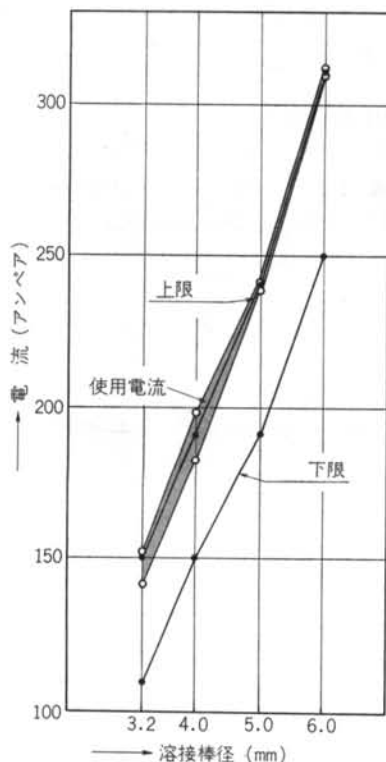


図-2 使用溶接棒の推奨電流範囲および使用電流

3.3.5 溶接速度：

溶接速度は溶接工に一任した。

その測定結果を図-3に示す。丸鋼径の小さくなるほど、溶接棒径の大きくなるほど、溶接速度は大きくなる傾向にある。これは、開先の大きさ、電流の使用範囲からいって当然の傾向といえる。溶け込み量には、先ず溶接電流、次いで溶接速度が大きな影響をおよぼすといわれる。図-4は、溶接棒径～溶接電流/√溶接速度についてまとめたものである。溶け込みに影響を与える溶接条件、溶接電流、溶接速度は、この形で整理する方が良いでしょう。

3.3.6 溶接施工：

溶接姿勢は下向とした。ウィーピングは溶接工に一任し、片面の溶接終了後、スラグを清掃し、ただちに他の片面の溶接を行なった。これは母材の初温の影響を調べるためである。盛数は単層とした。溶接時の外気温は11℃内外である。

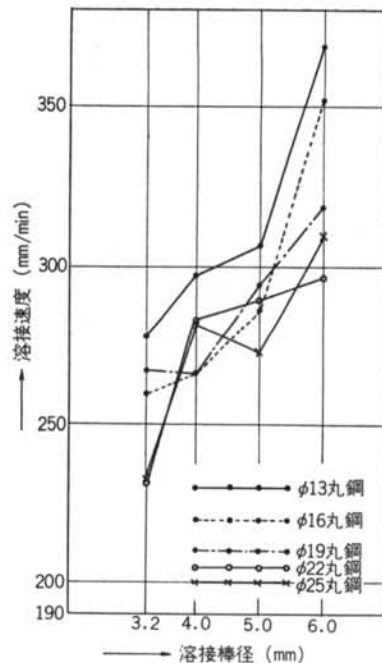


図-3 溶接棒径～溶接速度

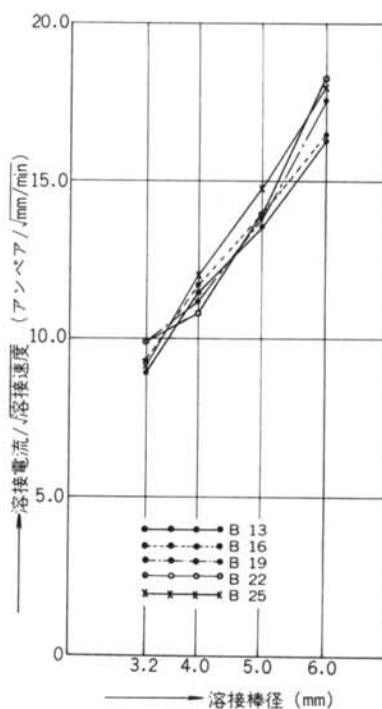


図-4 溶接棒径～溶接電流/√溶接速度

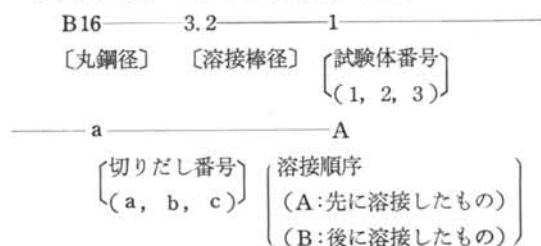
3.4 試験体個数および符号付け

5種類の丸鋼径の各々に4種類の溶接棒径を組合わせ

計20種類の試験体を製作した。また、各組合せにつき試験体3本を製作した。したがって試験体は合計60ヶ製作した。その各試験体より各々3本ずつ測定用試験片を切り出した。

すなわち、丸鋼径と溶接棒径の組合せ1つにつき9本の試験片を製作した。測定はその表裏について行なったので(削り代があるので別のもとのみとした)組合せ1つにつき18ヶの測定値を得た。

試験体には各々次のような符号付けを行なった。



§ 4. 測定項目、測定方法および整理方法

次のことがらについて測定を行なった。

- A. 溶接電流および溶接速度
- B. 丸鋼径
- C. ビッカース硬さ
- D. 顕微鏡組織
- E. 溶け込み不足量

4.1 溶接電流および溶接速度

溶接電流および電圧は、携帯電流電圧計(クランプメーター)によって行なった。測定精度は2.5級である。溶接速度の測定はストップウォッチによった。

4.2 丸鋼径

ノギスで1本につき4ヶ所測定した。

4.3 ビッカース硬さ

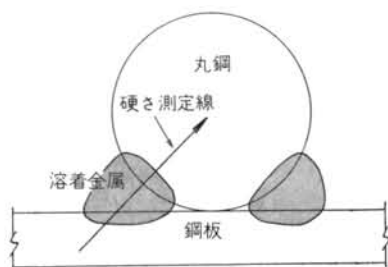


図-5 ビッカース硬さ測定位置

マイクロビッカースを用い荷重1kgで測定した。測定位置は溶着金属を横断して図-5に示すようである。

4.4 顕微鏡組織

万能金属顕微鏡を用い、 $12 \times 15 \times 0.65 \div 120$ 倍で写真撮影を行なった。

4.5 溶け込み不足量

接写撮影を行ない、3~5.5倍に拡大して、測定した。図-6、表-5はルート部の溶け込み不足部分の形状とその分布である。のど厚は溶着断面中、最小の値a(図-7)をとるべきものとする。

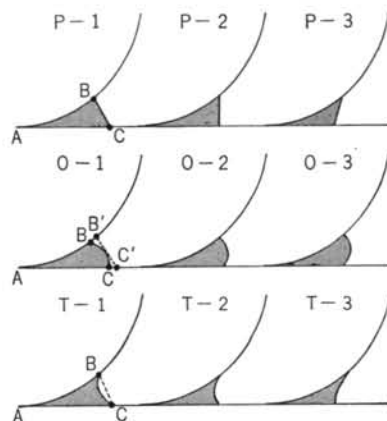


図-6 ルート部の溶け込み不足部分の形状

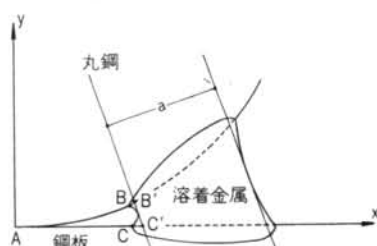


図-7 のど厚

したがって図-6においてPおよびT型においては直線BCを、O型においては弧BCの任意の点における接線の、丸鋼および鋼板との交点B', C'を結ぶ直線B'C'を溶け込み不足の端部とみなした。このデータをもとに、各組合せごとに図-8のようなグラフを描いた。B点は丸鋼の外周(公称径のもの)と一致しない。これは、

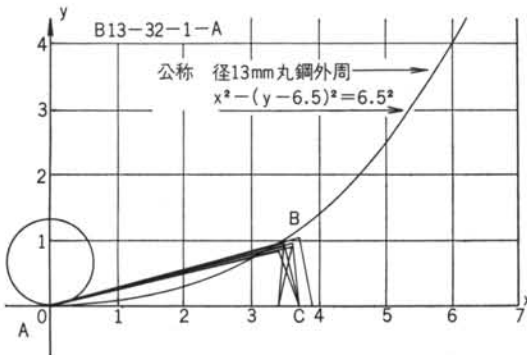
- A. 丸鋼径の寸法誤差
- B. 丸鋼と鋼板の接触不良
- C. 丸鋼の形状不良

丸鋼 符号	径	B13				B16				B19				B22				B25				計	%	%
		3.2	4	5	6	3.2	4	5	6	3.2	4	5	6	3.2	4	5	6	3.2	4	5	6			
P	1	17	27	25	34	23	24	28	27	24	23	28	24	12	27	27	23	8	13	23	16	453	62.8	88.2
	2	7	5	2	1	8	4	3	5	5	7	3	7	17	3	3	6	19	13	8	15	141	19.6	
	3	1	0	0	0	0	0	2	1	1	0	4	1	4	5	2	2	8	8	1	2	42	5.8	
O	1	2	1	1	0	4	3	0	0	5	2	0	3	0	0	0	2	0	2	0	1	26	3.8	8.4
	2	2	0	0	0	1	2	1	2	1	2	0	1	1	0	2	2	1	0	0	0	18	2.5	
	3	6	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	15	2.1	
T	1	0	1	3	1	0	2	2	0	0	2	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	14	1.9	5.4
	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	7	1.0	
	3	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.5	
計		144				144				144				144				144				720	100	100

表—5 ルート部の溶け込み不足部分の形状分布

等の理由である。

データの整理にあたって、丸鋼の断面を公称直径をもつ完全円形として扱った。これはデータを一般化するためである。

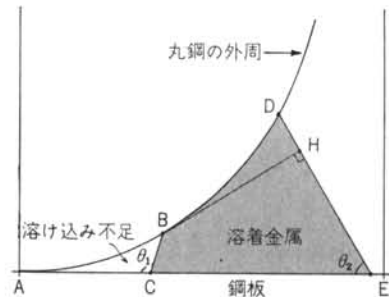


図—8 丸鋼径13mm, 溶接棒径3.2mm, のルート部溶け込み不足

図—9において、 $\theta_1 > \theta_2$ であれば、BからDEにおろした垂線BHは、のど厚 a である。

図—10、図—11は丸鋼径(開先形状)、溶接棒径(溶接電流)と θ_2 の関係を示したものである。

各点は36ヶ所の平均で、その標準偏差は $3^\circ \sim 4^\circ$ である。丸鋼径が大きくなれば θ_2 が大きくなる傾向がある



図—9 のど厚の決定

が、明確ではない。

溶接棒径(溶接電流)が大きくなれば、 θ_2 が小さくなる傾向にある。丸鋼径が大きくなれば、開先角度が大きくなる。溶接棒径が大きくなり、溶接電流が大きくなれば溶着金属量が多くなる。そのために前述のような傾向になるものと思われる。

いずれにしても θ_2 は 47° と 58° の間にある。したがって $\theta_1 > 60^\circ$ であれば、BHをのど厚として危険はないものと思われる。

以上の結果から $\theta_1 > 60^\circ$ となるようなB点で、溶け込み不足量を表示することにした。そのため丸鋼の外周(公称直径のもの)に一致しないB点は、次のような処理を行なった。

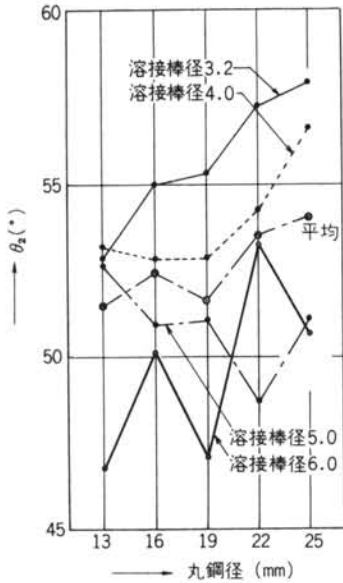


図-10 θ_2 -丸鋼径

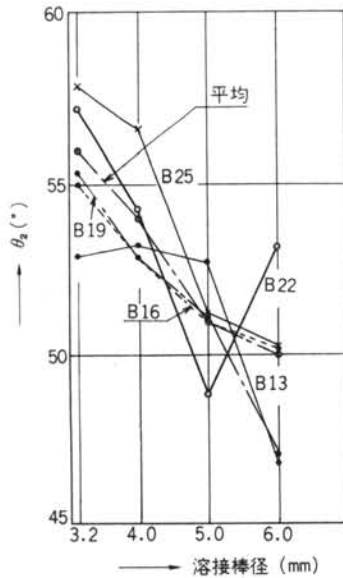


図-11 θ_2 -溶接棒径

1) B点が丸鋼外周の下側にあり、 $\theta_1 < 60^\circ$ の時(図-12) B点よりy軸に平行に引いた直線と丸鋼外周との交点B', C点を通ってx軸と -60° の角度をなす直線と丸鋼外周との交点B''のうち、x成分の大きい方を新しいB点とする。

2) B点が丸鋼外周の下側にあり、 $\theta_1 > 60^\circ$ の時(図-13) B点よりy軸に平行に引いた直線と丸鋼外周との

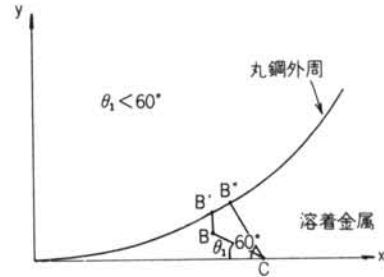


図-12

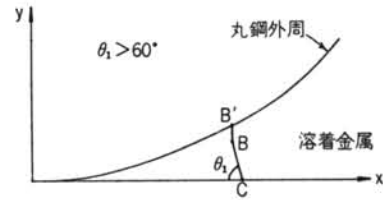


図-13

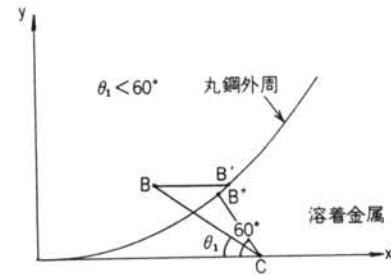


図-14

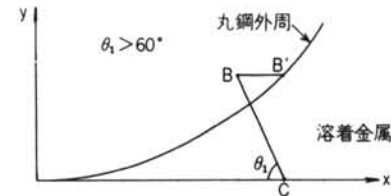


図-15

交点B'を新しいB点とする。

3) B点丸鋼外周の上側にあり、 $\theta_1 < 60^\circ$ の時(図-14) B点よりx軸に平行に引いた直線と、丸鋼外周との交点、B', C点を通ってx軸と -60° の角度をなす直線と、丸鋼外周との交点B''のうち、x成分の大きい方を新しいB点とする。

4) B点丸鋼外周の上側にあり、 $\theta_1 > 60^\circ$ の時(図-15) B点よりx軸に平行に引いた直線と、丸鋼外周との交点B'を新しいB点とする。

§ 5. 実験結果

5.1 溶接電流および溶接速度

溶接電流は 図-2 に、溶接速度は 図-3 に前述した。

5.2 丸鋼径

測定結果を表-6 に示す。

公称径 mm	測定結果(4ヶ所平均) mm
13	13.0
16	15.3
19	18.8
22	22.3
25	25.3

表-6 棒鋼径測定結果

5.3 ビッカース硬さ

鋼の熱影響部はポンド^{注2)} から遠ざかるにつれ最高加熱温度が低くなり、また冷却速度も遅くなるから、その顕微鏡組織に差があるように、機械的性質も変化している。熱影響部から豆引張試験片を切出して機械的性質の分布を求めても、誤差が大きく定性的な資料しか得られない。一般にポンドに近い粗粒部は、焼入硬化により強さは増しているが、伸びが少なくてもろい。しかし焼ならし微細部は、機械的性質、とくに延性とじん性に優れている。これらの機械的性質の変化を最も手軽に調べるために、熱影響部のカタサ分布がよく用いられる。とくに荷重の小さい(1~0.025kg)顕微鏡硬度計を用いると、その分布がよくわかる。しかし荷重が小さすぎると、測定値の誤差が大きくなる。そのため今回は、マイクロビッカースを用い、荷重1kgで測定を行なった。

一般にポンドのところにはカタサの不連続があり、最高カタサを生ずる。最高カタサが大きいほど熱影響部がもろくなるから、最高カタサは低いことが望ましい。

カタサの測定結果を図-16から図-24に示す。

溶接部のカタサに影響を与えるものは、母材の組成と冷却速度である。

注2) 溶着金属と母材の境界

注3) 面心立方格子の γ 鉄に炭素を固溶した相、113℃で最大固溶度2.0% C

注4) 炭素原子を過飽和に固溶した体心立方結晶

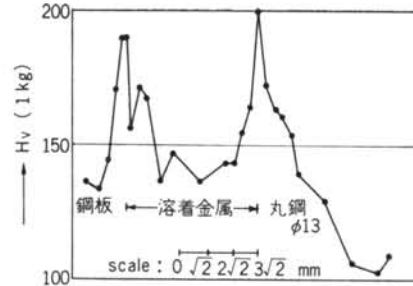


図-16 B13-3-1-a-Aビッカース硬さ

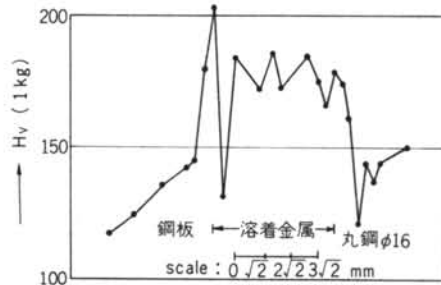


図-17 B16-3-1-a-Aビッカース硬さ

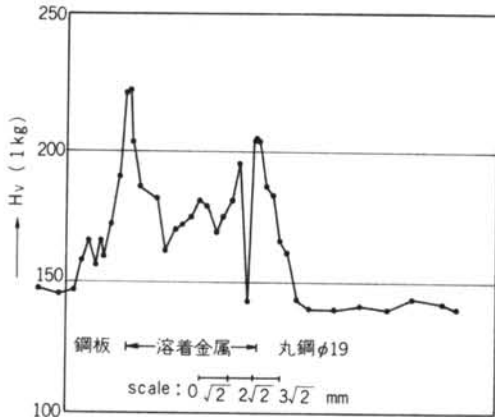


図-18 B19-3-1-a-Aビッカース硬さ

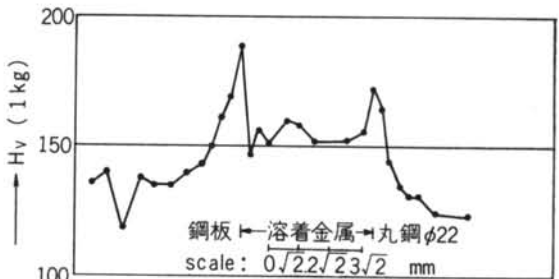


図-19 B22-3-1-a-Aビッカース硬さ

冷却速度が大きいと(臨界冷却速度より)、鋼はオーステナイト^{注3)}からマルテンサイト^{注4)}に変態して、その部

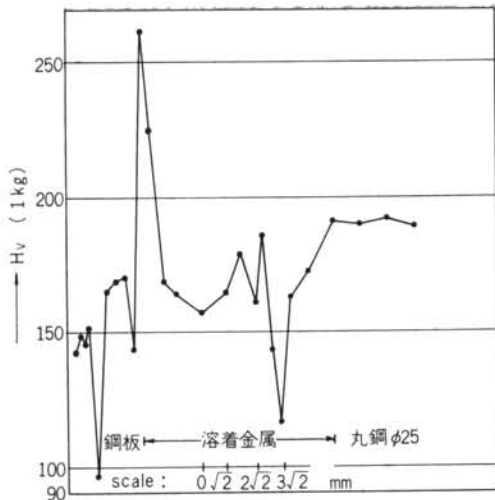


図-20 B25-3-1-a-Aビッカース硬さ

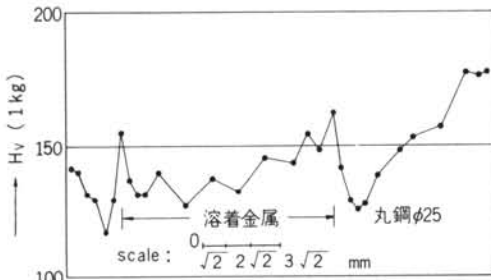


図-21 B25-6-1-a-Aビッカース硬さ

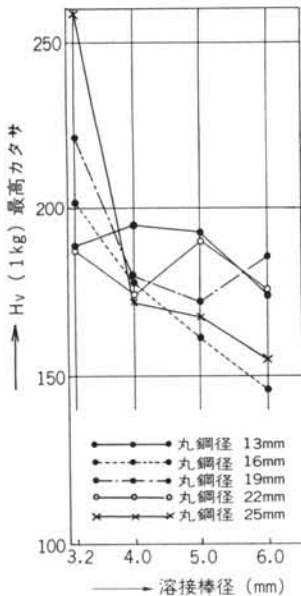


図-22 鋼板部最高硬さ

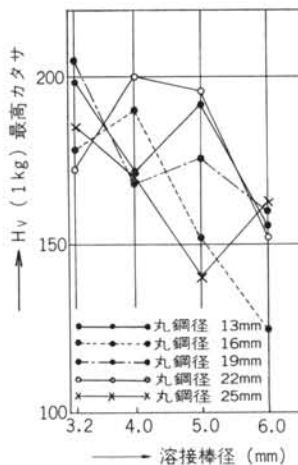


図-23 丸鋼部最高硬さ

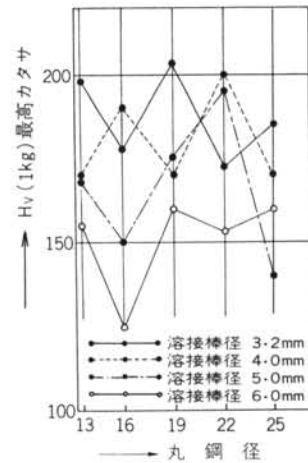


図-24 丸鋼部最高硬さ

分は非常に硬くて脆くなる。

溶接部の冷却状況は、溶接方法、溶接入熱、溶接長さ、溶接物の初期温度、板厚、溶接継手の形状、母材の熱定数などの影響を受ける。

溶接金属の断面形状が極端に変動しない範囲では、溶接によって単位溶接長さに与えられる熱量の大きいほど冷却速度は小さくなる。単位溶接長さ当りの入熱は、アーク電圧をV、溶接電流をI、アークの熱効率を η 、溶接速度を v として、 $\eta VI/v$ で与えられる。 ηV は余り変化しない。したがって図-22、図-23のように、溶接棒径(溶接電流)の大きくなるにしたがって、カタサが小さくなる。

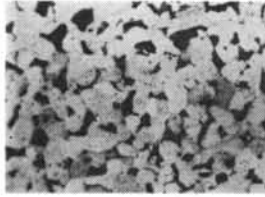
一般に板厚の大きいほど冷却速度は大となる。しかし図-24に示すように、この程度の棒径の違いでは、その影響はあまりない。

測定から得られた最高カタサは260である。国際溶接学会(IIW)によれば、溶接熱影響部の最高カタサは $Hv = 350$ 以下であれば危険はないという。したがって今実験の溶接条件では、カタサについては問題はない。

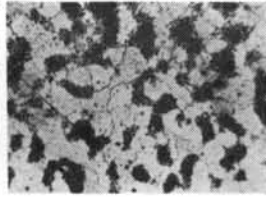
5.4 顕微鏡組織

溶着金属付近の母材は鋼の融点から室温までのあらゆる範囲にわたる複雑な熱サイクルを受ける。この最高加熱温度がとくに鋼の低い方の変態点(A_{c1})^{注5)}を過ぎる場合には、鋼の組織に重要な変化がある。低炭素鋼を単層で溶接した母材の熱影響の組織は連続して変化しているので、明瞭な区別はむずかしいが、表-7のように分類できる。写真-1から写真-8に顕微鏡写真を示す。

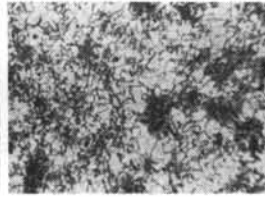
このうち粒状パーライト部は、母材のパーライト粒が



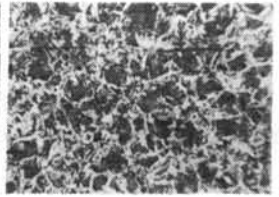
写真一 丸鋼原質部 (パーライト+フェライト)($\times 120$, 5%ナイタル, 30sec)



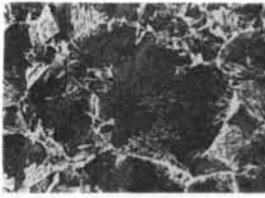
写真二 粒状パーライト部 ($\times 120$, 5%ナイタル, 30sec)



写真三 微細部 ($\times 120$, 5%ナイタル, 30sec)



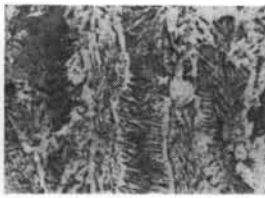
写真四 粗粒部 ($\times 120$, 5%ナイタル, 30sec)



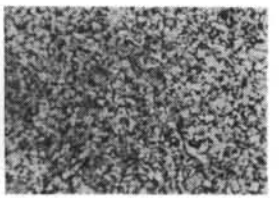
写真五 融合部 ($\times 120$, 5%ナイタル, 30sec)



写真六 融合部と溶着金属の境界付近 ($\times 120$, 5%ナイタル, 30sec)



写真七 溶着金属 (樹枝状組織) ($\times 120$, 5%ナイタル, 30sec)



写真八 鋼板原質部 (パーライト+フェライト): 棒鋼より炭素量が多い ($\times 120$, 5%ナイタル, 30sec)

名称	最高加熱温度	組織
溶着金属	1500℃以上	樹枝状結晶組織
融合部	1400~1500℃	母材の一部が融解し、一部は固体のままである。結晶組織がきわめて大きく、ウィドマン組織が発達する。
粗粒部	1200~1400℃	過熱によって粗粒化し、ウィドマン組織も見られる。
微細部	900~1200℃	Ac ₃ 変態点以上に加熱された部分で細粒均質である。
粒状パーライト部	750~900℃	Ac ₁ ~Ac ₃ の範囲に加熱された部分で、パーライトが細粒状に分割している。
脆化部	100~700℃	組織は母材原質部とほとんど差がない。
原質部	100℃以下	溶接熱影響をうけない母材部分

表一 低炭素鋼溶接部の組織変化

細分されて微細なパーライト粒群に変わった部分である。この部分はAc₁~Ac₃^{注6)}範囲に加熱された領域で、フェライト粒にはほとんど変化が起らないで、ただパーライト粒が1度オーステナイトに変態してから急冷されたために、細粒のパーライト^{注7)}(大部分がソルバイト^{注8)}組織)を発生したわけである。

熱影響部の組織変化で、鋼の機械的性質に影響を与え

注5) 冷却時に共析変態の起こる温度 723℃

注6) 亜共析鋼 (C<0.80%) の冷却時のオーステナイトとフェライトの変態温度 910℃~723℃

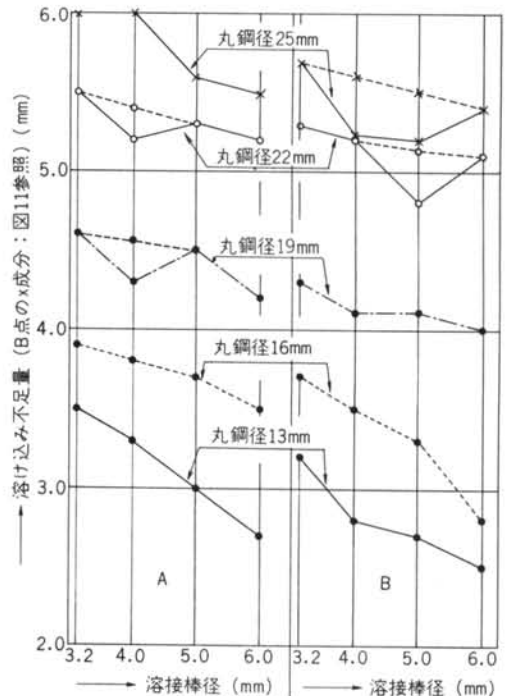
注7) 鉄-炭化鉄系の共析組織の別名

注8) パーライトの微細化のかなり進んだもの

るものはマルテンサイトであるが、今回の実験の試験体にはみられなかった。したがって、今実験の溶接条件では、金属組織には欠陥はないものと思われる。

5.5 溶け込み不足量とのど厚の算定

図一25に測定結果を示す。(母材の初温は10℃内外。丸鋼径19mm, 22mm, 25mmにおいて、溶け込み不足



図一25 溶け込み不足量

量が一般的傾向に合致せず、その理由が分からないので、安全をみて、直線的に補正した。）

今回の実験において与えた条件の中で、溶け込み不足量におよぼす影響のいちばん大きいものは丸鋼径（ルート形状）で、次いで母材の初温である。溶接電流、溶接速度は丸鋼径が大きくなると、さほど大きな影響を与えない。

図-26のように座標軸をとり、丸鋼の半径を r 、B点の座標を (b, h) 、D点の座標を (d, H) 、 $\angle DEA = \theta_2$ 、 $\angle BCA = \theta_1$ 、 $\tan \theta_2 = \alpha$ とすると、

$$\overline{DE} \text{ の方程式 } y = -\alpha x + (H + \alpha d) \dots\dots\dots (1)$$

$$\overline{BH} \text{ の方程式 } y = x/\alpha + (h - b/\alpha) \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{円Oの方程式 } (y-r)^2 + x^2 = r^2 \dots\dots\dots (3)$$

となる。

前述のように、 $\theta_1 \geq \theta_2$ であれば \overline{BH} はのど厚となる。実験より $\theta_2 < 60^\circ$ であり、 $\theta_1 \geq 60^\circ$ でB点を整理したので今回の実験データを使用する時、 \overline{BH} をのど厚とすることができる。

\overline{BH} は次式によって代数的に求められる。

$$\overline{BH} = T(H, d) - T(h, b) \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{ただし, } T(L, M) = \frac{L + M\alpha}{\sqrt{1 + \alpha^2}} \dots\dots\dots (5)$$

$$(L - r)^2 + M^2 = r^2 \dots\dots\dots (6)$$

今 $\theta_1 = 60^\circ$ ($\alpha = \tan 60^\circ \approx 1.73$) とすると(今実験の範囲では安全側にある) (5)式は、

$$T(L, M) = 0.61L + 1.05M \dots\dots\dots (7)$$

となる。

b は図-25に与えたB点の x 成分である。 b と h 、 d と H の関係は(6)式で与えられている。したがって脚長 H を測定することによって容易にのど厚を決定することができる。

図-27は $r = 6.5\text{mm}$ 、 8.0mm 、 9.5mm 、 11.0mm 、 12.5mm に対する(6)式のグラフである。表-8は図-25、図-27から求めた $T(h, b)$ である。

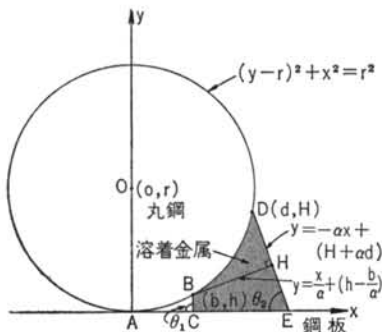


図-26 のど厚の算定

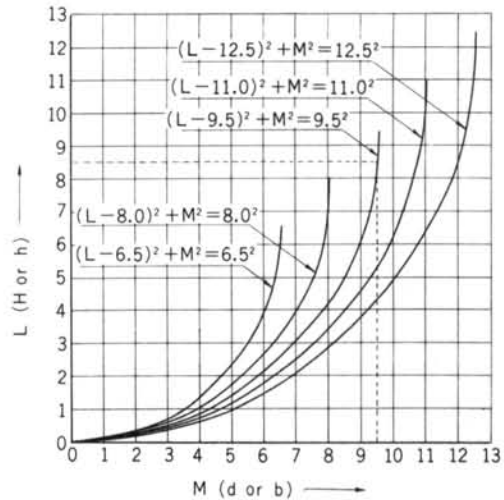


図-27 $(L - r)^2 + M^2 = r^2$

丸鋼径 \ 溶接棒径	13mm		16mm		19mm		22mm		25mm	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
3.2mm	4.3	3.8	4.7	4.5	5.6	5.2	6.7	6.4	7.2	6.8
4.0	4.0	3.3	4.6	4.2	5.5	4.9	6.6	6.3	7.2	6.7
5.0	3.6	3.2	4.4	3.9	5.4	4.9	6.4	6.2	6.7	6.5
6.0	3.2	2.9	4.2	3.2	5.0	4.7	6.3	6.1	6.5	6.4

表-8 $T(h, b)$

・のど厚の計算例)

鋼板に径19mmの丸鋼を2層で溶接する。初層の溶接にイルミナイト系溶接、径4.0mmを使用し、溶接電流を190Aとした。

この時脚長 $H = 8.5\text{mm}$ 、母材初温 10°C 内外であった。

表-8より $T(h, b) = 5.5\text{mm}$

図-27より $d = 9.5\text{mm}$

故に $T(H, d) = 0.61 \times 8.5 + 1.05 \times 9.5 = 15.2\text{mm}$

故に のど厚 $= T(H, d) - T(h, b) = 9.7\text{mm}$

§6. 問題点

各組合せの接写写真を写真-9～写真-28に示す。写真にあらわれた溶接欠陥を表-9にまとめてある。

その欠陥の主なものは、

- A. アンダーカット
- B. スラッグ巻込み
- C. クラック

である。

アンダーカット発生の原因には、(a). 溶接棒の保持角度、運棒速度不適当なとき、(b). 溶接電流の高いとき、(c). 溶接棒の選択をあやまった時、などがあげられる。今実験では溶け込み不足量を少なくするために、溶接棒径に許される最大な溶接電流を与え、それに適した溶接速度で溶接を行なった。単層溶接で使用する場合、今実験のデータは溶接棒径4.0mm以下(電流200A以下)にしか適用することができないが、多層溶接をする場合、2層以降をアンダーカット部分を埋めるような要領で溶

接を行なえば、今実験の結果を適用することができる。すなわち溶け込み不足量を少なくするためには、初層の溶接を高電流で行ない、2層以降で、発生したアンダーカットを消せばよい。

しかしながら丸鋼の溶接はアンダーカットが発生しやすく、とくに、終始点部のそれは、丸鋼の強度に大きな影響を与えるので、さらに研究しなければならない。

スラグの巻込みは、フレアグループ溶接の宿命のようなものである。このためには、さらにスラグの浮上がり

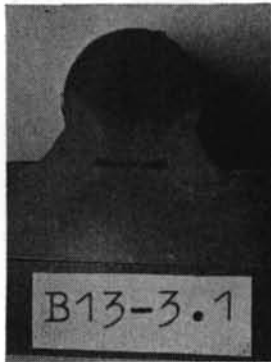


写真-9 アンダービッドク
ラックあり

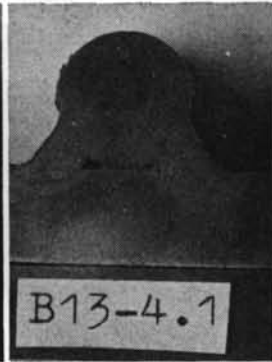


写真-10

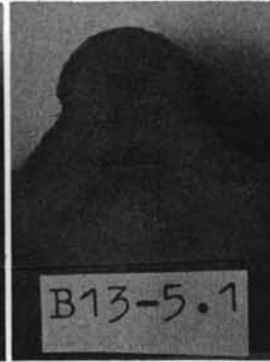


写真-11

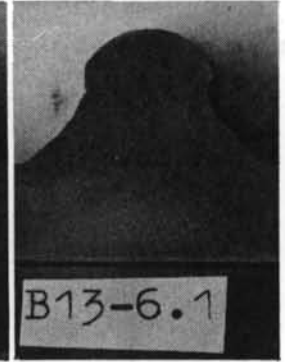


写真-12 棒鋼母材中央にクラ
ック(開裂)あり

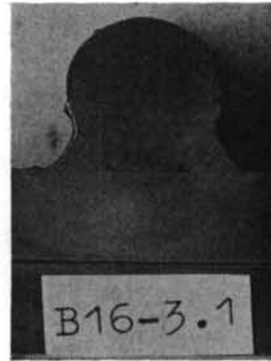


写真-13

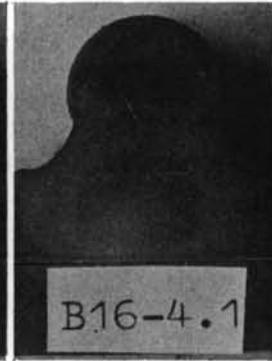


写真-14

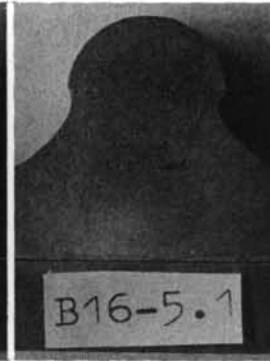


写真-15

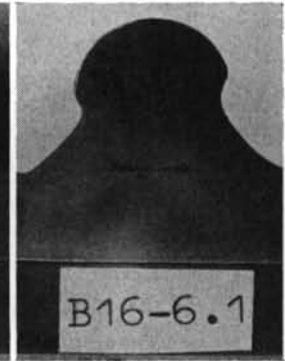


写真-16

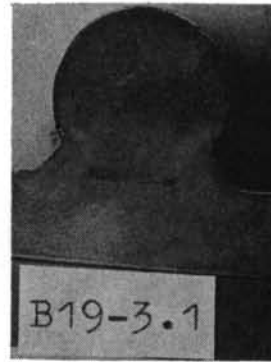


写真-17

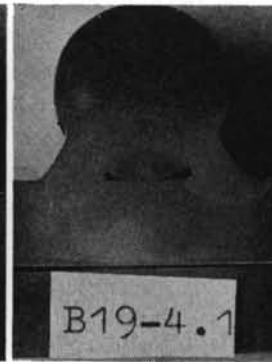


写真-18

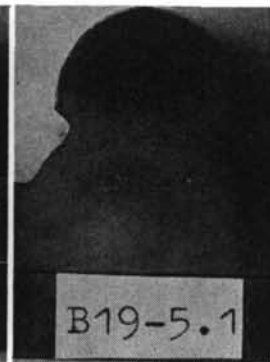


写真-19

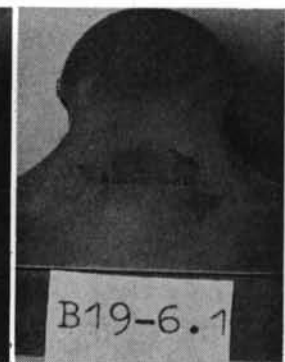


写真-20

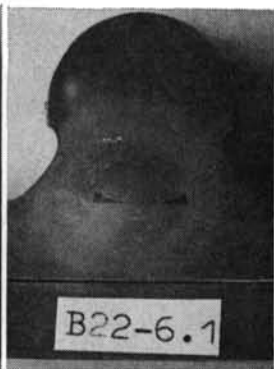
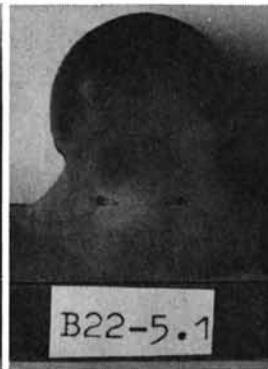
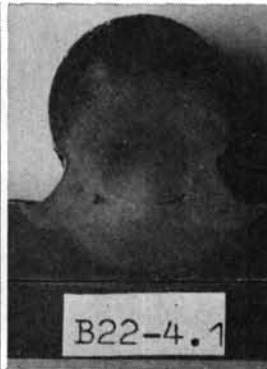
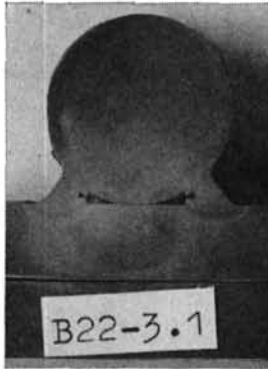


写真-21 スラブ巻込みあり

写真-22

写真-23 アンダーカットあり

写真-24 アンダーカットあり

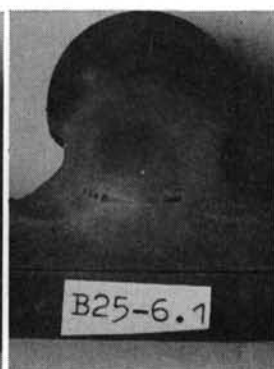
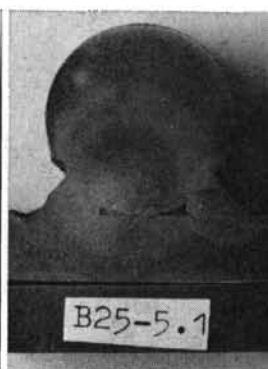
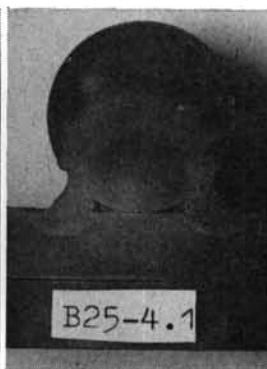


写真-25

写真-26 スラグ巻込みあり

写真-27 スラグ巻込みあり
アンダーカットあり

写真-28 スラグ巻込みあり
アンダーカットあり

のよい、剝離のよい溶接棒の出現が望まれる。

写真-12 (B13-6-1) にみられるクラックは、鋼の高温割れ、すなわち赤熱脆性に起因するものか、拘束割れのいずれかと思われるが、重要な問題なので、さらに研究する必要がある。

写真-9 (B13-3-1) にみられるクラックは、アンダービードクラックで、この原因は、

- a. マルテンサイト中の水素によるぜい化
- b. 溶着鋼および熱影響部の収縮応力
- c. オーステナイト \rightarrow マルテンサイト変態の体積膨張による変態応力
- d. 微視的に空气中に存在する分子状水素の持つ静力学的な圧力

等といわれている。

これも重要な問題なので、さらに研究しなければならない。

§7. む す び

今回の実験によって、イルミナイト系溶接棒を用いた

場合の丸鋼径および溶接電流(溶接棒径)の、丸鋼と鋼板のフレアグループK溶接の溶け込み不足量におよぼす影響が、一応、定量的に明らかになった。われわれの提案した方法によれば、ビード外観を測定することによって、丸鋼と鋼板のフレアグループK溶接のどの厚を推定することができる。

しかしこれはデータの統計的处理から得られた算定方法であるので、完全を期するためにはなお数多くの実験データの公表を待たねばならない。

さらに、

- A. 母材初温の溶け込み不足量におよぼす影響
- B. スラグ巻込みをなくする方法
- C. アンダーカットをなくする方法
- D. クラック発生の防止方法

などの多くの問題が残されている。今後は、これらの研究を行なうとともに、この種の研究の公表を待ち、どの厚の算定をより正確なものにしてゆきたいと思っている。

	溶接棒種	電 流 (アンペア)	速 度 (mm/min)	電 流 √速 度	オーバ ラップ	マンダー カット	線 状 組 織	銀 点	スラグ 巻込み	ブロー ホール	クラック	硬 さ
B13-3	D4301	146	27.8	8.9	○	○	○	○	○	○	●	△
B13-4	〃	198	29.7	11.5	○	△	○	○	○	○	○	○
B13-5	〃	238	30.7	13.6	○	△	○	○	○	○	○	○
B13-6	〃	312	36.9	16.3	○	●	○	○	○	○	●	○
B16-3	〃	151	26.0	9.3	○	△	○	○	○	○	○	○
B16-4	〃	190	26.6	11.7	○	○	○	○	○	○	○	○
B16-5	〃	238	28.6	14.0	○	△	○	○	○	○	○	○
B16-6	〃	308	35.2	16.5	○	●	○	○	○	○	○	○
B19-3	〃	152	26.7	9.9	○	○	○	○	○	○	○	○
B19-4	〃	182	26.6	11.2	○	△	○	○	○	○	○	○
B19-5	〃	238	29.4	13.9	○	●	○	○	●	○	○	○
B19-6	〃	313	31.9	17.6	○	●	○	○	○	○	○	○
B22-3	〃	150	23.1	9.9	○	○	○	○	●	○	○	○
B22-4	〃	182	28.3	10.8	○	△	○	○	○	○	○	○
B22-5	〃	238	28.9	14.0	○	△	○	○	○	○	○	○
B22-6	〃	315	29.6	18.3	○	●	○	○	○	○	○	○
B25-3	〃	139	23.2	9.1	○	○	○	○	○	○	○	○
B25-4	〃	208	28.2	12.0	○	○	○	○	●	○	○	○
B25-5	〃	245	27.3	14.8	○	●	○	○	●	●	○	○
B25-6	〃	315	31.0	18.0	○	●	○	○	●	○	○	○

○……良 △……やや良 ●……不良

表-9

<参考文献>

- 1) 神谷六美：“電気溶接を用いた鉄筋コンクリート構造法に関する研究”
- 2) 鶴田 明：“鉄筋溶接に関する研究”
- 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：“鋼材融接理論・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