

薄鋼板用被覆電弧熔接棒試験方法の研究

鈴木音次郎* 小林年夫**

Study on The Testing of Welding Electrodes Used for Light Gauge Steel Plate

By Otojirō Suzuki and Toshio Kobayashi
Kasado Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

On studying the welding electrodes of 3.2~2.0 mm in dia. which are made on trial for welding the outside plate of the cars, and on selecting and testing the electrodes in the market, it has been experienced the most difficult that no adequate methods of the test are available. So we have been engaged in the research and the experiment of welding, using some ten kinds of electrodes of light gauge steel plate in the market in order to find the proper methods of testing.

As a result of the experiment, the following points are made clear.

1. The bending test is the best way to judge the quality of electrodes.
2. The test of fabrication characteristics of welding is to be considered as the auxiliary process to know the characteristics but not vitally important.
3. The tensile strength of more than kg/mm^2 (in stress) should be required.

[I] 緒 言

客電車外板の熔接に用いられる薄鋼板用被覆電弧熔接棒の試作研究、あるいはこの種市販熔接棒の選択検定に当つて我々が最も困難を感じるのは、その適確な試験方法がないことである。従来の熔接棒規格に定められた試験方法は実際には 4~5 mmφ の厚被覆棒を対象としており、薄板用熔接棒にそのまま利用することは出来ない。薄鋼板用被覆電弧熔接棒と称せられるものは、車輛については主として 3.2~2.0 mmφ のものであつて、これらの熔接棒は下向熔接の他に流し熔接（豎向下進熔接）、横向、上向等あらゆる姿勢で使用され、従つて被覆の型もガスシールド式に近いものが望ましく、このような熔接棒に対しては主として熔着鋼の優劣を判定する従来の試験方法を採用しても適確にその真価を知ることも出来ないし、又薄鋼板熔接製品に即応した試験結果が得られない。

我々がかねて機会あるごとに熔接学会その他に薄鋼板用熔接棒の規格制定を提唱して来たが、昨年熔接協会車

輛部会が結成されさつそく本問題を取上げ規格案の作成にとりかかることとなつたが、その骨子となる試験方法については慎重な実験研究が行われ、熔接棒の性能を判定すべき最も妥当な方法が決定されなければならない。

本研究はこのような目的から取上げられたもので、あわせて薄鋼板用熔接棒被覆剤研究促進の一助にせんとしたものである。ここではいかなる試験方法を取上げて研究を進めるべきかについて行つた基礎実験、ならびに判定基準決定を目的とした第二次実験結果について報告している。

[II] 第一次実験

(1) 実験の方法

薄鋼板用熔接棒の試験方法について述べられている文献は少ない。4~5 mmφ 棒の場合に準じて考えると、熔着鋼試験、衝合せ熔接、重ね接手熔接、各種の限内熔接等があるが、これらの方法をそのまま利用して薄鋼板用熔接棒の適確な検定がなし得るとは考えられない。さらに一般に実用に供し得る如くするには出来るだけ簡易で手軽に利用出来るものであることが重要な条件となる。

* ** 日立製作所笠戸工場

我々は先ず少数の熔接棒を用いて現場でもつともよく使用されている衝合せ熔接を採用し、熔接後の試験方法に対して検討を加え、研究の進む方向を見出さんとした。

(A) 試験片の熔接

試験用鋼板としては客電車外板 SS-41, 2.3mm のものを用い、これを第 1 図に示す如き治具を用いて熔接を行つた。このような方法をとれば一枚の試験片から、片面接手、両面接手、あるいは裏当金の可否について検討を加えることが出来る。熔接姿勢は下向、流し、横向、上向の 4 種とした。これによつて現場作業のあらゆる作業姿勢に対する熔接棒の性能が明らかになる。

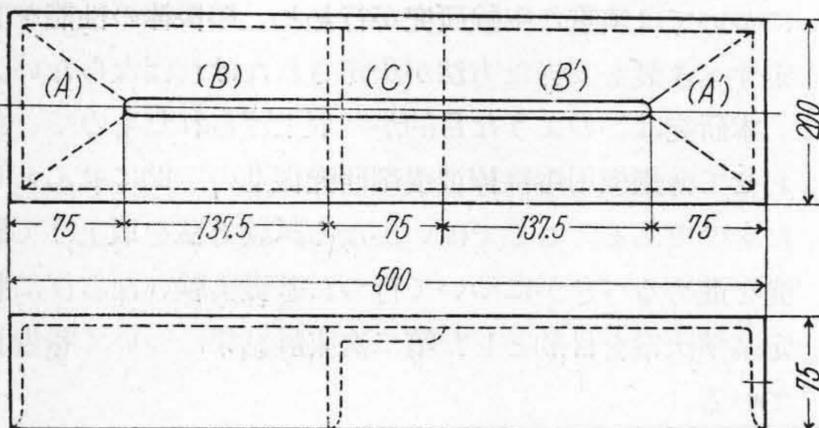
(B) 供試熔接棒

第 1 表に供試熔接棒名ならびに熔接姿勢を示した。試験棒とあるのは薄鋼板用としてガスシールド式に近い被覆剤を用いて試作したもので、市販熔接棒に比して低い性能のものをねらい実験結果の検討を容易にせんとしたものである。

(C) 試験片の加工ならびに機械性試験方法

(A)の如くして熔接した鋼板から第 2 図に示す如く試験片を加工し引張および曲げ試験を行つた。引張試験片の形状をこのようにしたのは破断を熔接部で生ぜしめ、熔着鋼のもつ強度を明瞭に知るためである。曲げ試験方法については従来相当大きな曲げ R が用いられてきたが、これによると幅の狭い衝合せ熔接部の真の靱性を見出すことが出来ず、一般市販棒の正しい良否判定には不適當と考え次の如き方法をとつた。

安田氏の鋼板プレス曲げの研究⁽¹⁾によると屈曲部の最



第 1 図 試験片熔接用治具
Fig. 1. Jig Used for Welding of Test Pieces

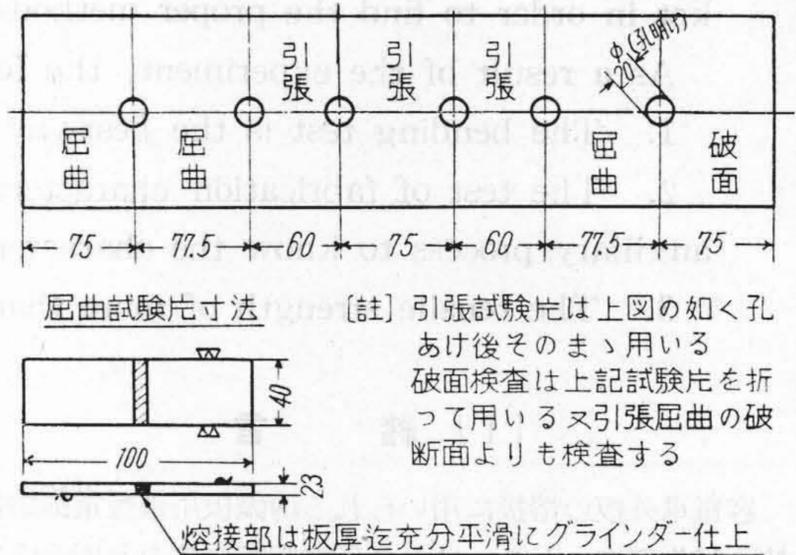
[註] 本図の如き治具を用いて先ず表側を熔接し、次にそのまゝ裏返して裏熔接を施行する
かゝることにより
(A)(A')部 片面当金熔接
(B)(B')部 両面熔接
(C)部 片面熔接
が出来ることになる

第 1 表 供試熔接棒

Table 1. Samples of Welding Electrodes

熔接棒名試番	棒径 (mm)	実験施行 (○印)			
		下向	流し	横向	上向
1. 神戸製鋼 B-2	3.2	○	○	○	○
2. // T-2	//	○	○	○	○
3. // B-2	2.6	○	○	○	○
4. // B-0	2.4	○	○	○	
5. // B-17	2.0	○	○	○	○
6. 今 西	//	○	○	○	○
7. 矢 島	//	○	○		
8. 東洋ロード A	3.2		○		
9. // B	//		○		
10. 試 作 No.-1	//	○	○	○	○
11. // No.-14	//	○	○	○	
12. // No.-17	//	○	○	○	
13. // No.-22	//	○	○	○	

[註] 以後熔接棒名は代名試番にて示す



第 2 図 試験片加工方法
Fig. 2. Process in making Test Pieces

大伸率と曲げ角度との関係は雌型口幅 $\frac{L}{h}$ および雄

型先端半径 $\frac{R}{h}$ が小さい場合は、伸率が相当の数値

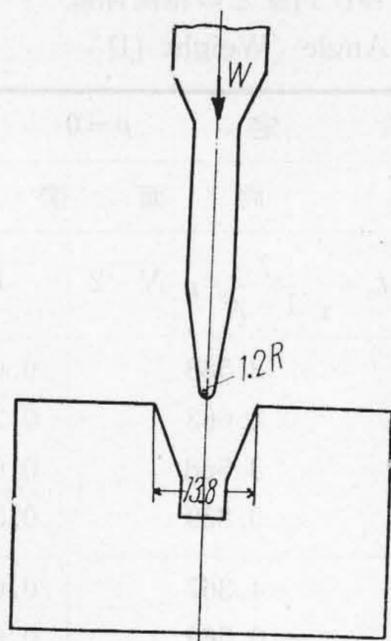
に達するまでは直線関係になると述べられている。この結果を利用することにより薄鋼板熔接部の靱性を明らか

にすることが出来ると考えられるので、 $\frac{L}{h}=6, \frac{R}{h}$

$=0.5$ として第 3 図の如き曲げ金具による曲げ試験を行うこととし、熔接部に幅 1mm の亀裂を生ずる点をもつて曲げ角度とした。

(D) 作業性能試験

熔接棒の性能を規定する場合従来熔着鋼の機械的性質のみが問題とされていたが、JES 9001 号で作業性能が



第3図 屈曲試験用曲げ金具
Fig. 3. Arrangement used for Bending Test.

大きく取上げられこの点に対する関心が高くなった。しかしこの作業性能の検定法が感覚的採点によらざるを得ないため常に問題にされてきた。薄鋼板用熔接棒の試験においてもこの方法をどのように扱うべきかは問題が多い。しかしいずれにしてもこの試験を行い、その結果について十分な検討を加え薄鋼板用熔接棒の検定に際して取上げるべきか否かを決定しなければならない。採点すべき作業性能項目ならびに適当と考えた重要度指数を示すと第2表の如くである。表中 [I] は特に重要と思わ

れるもののみ、[II] は熔接棒について考え得るあらゆる性能を取上げた場合である。

(2) 実験の結果

以上の如き方法による実験結果は、引張試験では試験片を第2図の如くしても尙母材部で破断するもの多く、これによる熔接棒の良否判定は困難のようである。曲げ角度は20°~100°の間に分布し、大体よく棒の良否を表していると考えられるが、流しおよび上向熔接においては試験片2本の測定値に大きなばらつきがあり検討を要するものの如くである。

作業性能採点の場合、4~5mmφ 棒においては神鋼 B-17 を一応感覚的判定の標準として行えば現在の市販熔接棒については大体妥当な数値を出すことが出来たが、薄板用熔接棒では各向ともこのような標準となるべき熔接棒が見当たらないので採点は相当困難であるが、採点結果は現場における使用経験とよく一致し、実験結果に検討を加える場合かなり信頼し得るものと考えられる。重要度指数のとり方による差は著しい程ではないがこれによる影響は次項において充分検討されるはずである。

(3) 実験結果の検討

厚被覆棒にあつては作業性能と熔着鋼の機械的性質とは必ずしも一致しない場合があり得るが、薄鋼板用熔接棒の場合その使用目的又は熔接条件等を考えるとこの両者の間には相当大きな関連性があるのではないかと思われる。もしも何等かの関連性を持つものとするれば機械性

第2表 作業性能試験項目とその重要度指数

Table 2. The Items for Usability Test and their Individual Weight

試験項目	[I]		[II]	
	採点項目	重要度指数	採点項目	重要度指数
作業性	(1) アークの安定性	0.35	(1) アークの安定度	0.30
	(2) 棒端の状況	0.15	(2) 熔融の均等性	0.20
	(3) スラッグの流動性	0.35	(3) 棒端の状況	0.05
	(4) 熔込の適度	0.15	(4) スラッグの流動性	0.20
外観検査			(5) 熔込の適度	0.10
	(1) ビード波形の均等性	0.40	(6) スパッターリングの多少	0.05
	(2) ビード表面の状況	0.35	(7) 熔池の状況	0.10
	(3) オーバーラップ、アンダーカット	0.15	(1) ビード波形の均等性	0.20
	(4) 亀裂洩れの有無	0.10	(2) ビード表面の状況	0.20
			(3) 壺の状況	0.15
破面検査	(1) 気泡	0.60	(4) アンダーカット、オーバーラップ	0.15
	(2) 有害な組織	0.40	(5) 母材熱影響部の状況	0.05
		(6) 亀裂洩れの有無	0.25	
		(1) 気泡	0.60	
		(2) 有害な組織	0.40	

第 3 表 作業性能点 (重要度指数 [I] による) と曲げ角度との相関係数
Table 3. Correlation between Usability and Bending Angle (Weight [I])

項 目	熔 接 向	試 料 数	相 関 係 数 (γ)		t -分 布 検 定 $\rho=0$			
			片 面 接 手	両 面 接 手	片 面 接 手		両 面 接 手	
					$t_0 = \frac{\gamma}{\sqrt{1-\gamma^2}} \sqrt{N-2}$	$P_\gamma\{ t > t_0 \}$	$t_0 = \frac{\gamma}{\sqrt{1-\gamma^2}} \sqrt{N-2}$	$P_\gamma\{ t > t_0 \}$
作 業 性	下	11	0.984	0.689	16.584	$0.001 > P_\gamma > 0$	2.588	$0.02 > P_\gamma > 0.01$
	流し	13	0.569	0.448	2.298	$0.05 > P_\gamma > 0.02$	1.663	$0.2 > P_\gamma > 0.1$
	横	10	0.633	0.782	2.314	$0.05 > P_\gamma > 0.02$	3.568	$0.01 > P_\gamma > 0.001$
	上	6	0.629	0.385	1.619	$0.2 > P_\gamma > 0.1$	0.839	$0.5 > P_\gamma > 0.4$
外 観 検 査	下	11	0.637	0.823	3.000	$0.02 > P_\gamma > 0.01$	4.367	$0.01 > P_\gamma > 0.001$
	流し	13	0.311	0.175	1.086	$0.4 > P_\gamma > 0.3$	0.569	$0.6 > P_\gamma > 0.5$
	横	10	0.411	0.652	1.277	$0.3 > P_\gamma > 0.2$	2.434	$0.05 > P_\gamma > 0.02$
	上	6	-0.411	0.561	0.902	$0.5 > P_\gamma > 0.4$	1.355	$0.3 > P_\gamma > 0.2$
破 面 検 査	下	11	0.657	0.835	2.617	$0.05 > P_\gamma > 0.02$	4.554	$0.01 > P_\gamma > 0.001$
	流し	13	-0.285	0.148	0.987	$0.4 > P_\gamma > 0.3$	0.496	$0.7 > P_\gamma > 0.6$
	横	10	0.648	0.656	2.409	$0.05 > P_\gamma > 0.02$	2.462	$0.05 > P_\gamma > 0.02$
	上	6	0.572	0.746	1.396	$0.3 > P_\gamma > 0.2$	2.240	$0.1 > P_\gamma > 0.05$

第 4 表 作業性能点 (重要度指数 [II] による) と曲げ角度との相関係数
Table 4. Correlation between Usability and Bending Angle (Weight [II])

項 目	熔 接 向	試 料 数	相 関 係 数		t -分 布 検 定 $\rho=0$			
			片 面 接 手	両 面 接 手	片 面 接 手		両 面 接 手	
					$t_0 = \frac{\gamma}{\sqrt{1-\gamma^2}} \sqrt{N-2}$	$P_\gamma\{ t > t_0 \}$	$t_0 = \frac{\gamma}{\sqrt{1-\gamma^2}} \sqrt{N-2}$	$P_\gamma\{ t > t_0 \}$
作 業 性	下	11	0.737	0.661	3.275	$0.01 > P_\gamma > 0.001$	2.644	$0.05 > P_\gamma > 0.02$
	流し	13	0.771	0.809	4.018	$0.01 > P_\gamma > 0.001$	4.568	$0.001 > P_\gamma > 1.0$
	横	10	0.613	0.992	2.195	$0.1 > P_\gamma > 0.05$	22.280	$0.001 > P_\gamma > 1.0$
	上	6	0.694	0.477	0.718	$0.6 > P_\gamma > 0.1$	1.086	$0.4 > P_\gamma > 0.3$
外 観 検 査	下	11	0.501	0.709	1.737	$0.2 > P_\gamma > 0.1$	3.017	$0.02 > P_\gamma > 0.01$
	流し	13	-0.371	-0.171	0.928	$0.4 > P_\gamma > 0.3$	0.576	$0.6 > P_\gamma > 0.5$
	横	10	0.316	0.189	0.943	$0.4 > P_\gamma > 0.3$	0.544	$0.7 > P_\gamma > 0.6$
	上	6	0.177	0.581	0.359	$0.8 > P_\gamma > 0.7$	1.427	$0.3 > P_\gamma > 0.2$

註：破面検査は [I][II] と同じ

試験結果は定量的に明瞭に示されるものであるから、従来種々批判されてきた感覚的採点による作業性能試験を簡略化し、機械性試験に重点をおくことが出来て溶接棒の検定法が著しく普遍的、合理的なものとなることが考えられる。

今作業性能採点結果と曲げ角度との関係をそれぞれ図示してみるとある直線関係をもつて示されることが知られるが、この両者の関連性を数値的に判断するために統計で用いられる相関係数を求めてみる。しかしこの相関係数はその性質上高い値を有していても試料数によつて

その有意性は一様でない。これに対しては母集団の相関関係即ち薄鋼板用溶接棒の作業性と曲げ角度とは相関なく $\rho=0$ なる仮定をおいて t -分布検定にかけ、有意水準を 0.05 とすると相関係数の意味は明瞭になり、検討が著しく容易になる。かくして求めた相関係数及び、 t 分布検定結果を第 3~4 表に示す。この表によれば引張試験を除く他の実験結果のすべてについて詳細な検討がなし得る。

この結果によれば有意水準を 0.05 にすると、重要度指数の採り方 [I] による場合、作業性、外観、破面共

両面熔接接手では下向、横向、片面熔接接手では下向と破面の横向を加えたもののみが5%以下の確率(危険率)で $\rho=0$ なる仮定が捨てられ得る。重要度指数の採り方【II】による場合は流しの作業性に於て相関係数が高くなり、外観検査では相関係数が低くなる。我々の採用した曲げ試験の方法は、熔接部の健全性を極めて正しく示すものであり、薄鋼板熔接においては熔接棒の使用性能が強く熔接部の健全性に影響すると考えられるので、このような相関係数の相異は使用性能試験における各項目の重要度指数の採り方に不合理な点があるものと考えられる以下これらの点について検討を加えてみる。

(A) 重要度指数の採り方

作業性の場合【I】によるとスラグの流動性にのみ重点をおきすぎているのでこの点数が大きく影響してくる。熔融の均等性は薄板用熔接棒の場合は特に重要であり、【II】の方法によるべきである。しかしこのうちスパッターはあまり問題にすべき因子でなく、又熔地の状況は判定に熟練を要し除外すべきものと考えられる。外観検査では母材熱影響部の状況に差異は殆ど生ぜず、又亀裂洩れの生ずる熔接棒も極めて稀である。従つてここでは【I】によるべきである。これは相関係数の値からもその合理的であることが証明される。破面検査結果は曲げ試験結果とよく一致する。しかし曲げ角度に対してはブローホールよりもむしろ有害な組織あるいはスラグの捲込等がより重要な因子となるように思われるので、このような考え方で重要度指数を改めれば、横向、上向等の場合にも、もつと高い相関係数を示すものと考えられる。

(B) 片面、両面熔接に対する検討

相関係数の値は一般に片面熔接の場合の方が低い。この傾向は流し熔接等特殊姿勢の場合特に顕著である。これは試験片の数が一本であることにもよるが、片面熔接は局部的欠陥が直ちに影響する危険が大きく、機械性試験結果の変動が多くなるものと考えられるので、機械性試験方法を重視してゆくとすれば両面熔接を採るべきが妥当なようである。

(C) 流し熔接に関する考察

流し熔接はいずれも曲げ角度との相関係数が低い。流し熔接のためにはスラグの少ないガスシールド式、あるいはスラグの融点の高い半ガス式の熔接棒を必要とするのであるが、この系統に属する作業性、機械性共にすぐれた熔接棒の製作は極めて困難であつて現在の市販熔接棒中には全く見当らない。被覆剤のみをガスシールド式にしたり被覆を薄くしてスラグを少なくすることは比較的容易であり、これによつて流し熔接の作業性は向上するが、機械的性質まですぐれたものにするのはむづかしい。又スラグシールド式の中被覆棒例えば神戸製鋼棒

等は流し熔接の場合尚スラグ多く、作業性点は低い熔着鋼そのもはすぐれた性質を持つため機械的性質は相当良好な値を示す。以上の点から考えると流し熔接の場合には作業性その他と曲げ試験結果とは逆相関を示すようにも思われる。然し、流し熔接の場合の作業性の判定が困難なことと、スラグ式で本来熔着鋼の性質のすぐれたものも作業性の不良のためにスラグ捲込その他の欠陥が起り作業性機械性共に大きな差が現れなくなること、このような影響のため相関係数は極めて低い値を示すのであつて、薄鋼板用熔接棒に欠くべからざる流し作業性能の検定が最も困難であるということことになる。しかしこの点に関して更に実験を進めなければならないが、作業性判定の習熟、破面検査重要度指数の採り方等を改善することにより検定をある程度合理的ならしめ得るものと思われる。

(D) 抗張力と作業性能

抗張力と作業性能との関係は曲げ試験の如き明瞭な関係はみられず、下向熔接の場合にのみ次の如き相関係数が得られた。

	[片面熔接]	[両面熔接]
作業性点数に対して	0.037	0.854
外観検査点数に対して	0.040	0.423

両面熔接の作業性点数との相関は相当高い値を示すが、この場合でも試作棒の如き極めて性質の劣るものが全試料数の30%を占めていることが影響しており、通常の市販棒を多く含めた場合には相当異つた結果になるものと考えられる。又片面熔接の場合は抗張力による良否判定をなし得ないことが明らかである。従つて薄鋼板用熔接棒試験方法としての抗張力は実用上支障を来さない最小基準を決めておくだけに止めるべきであろう。

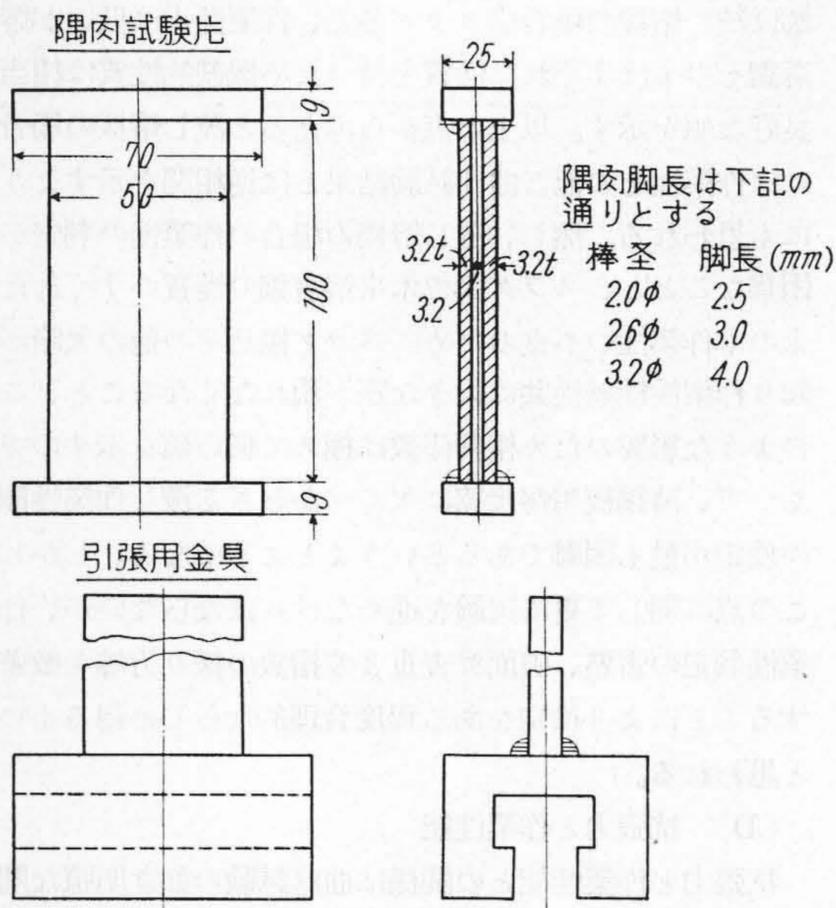
以上二三主要な点についてのみ検討を加えたが、上向熔接の場合等は試料数少くこの結果のみによつて判定基準を決定することは困難である。しかしこの第一次試験によつて我々の意図した機械性試験特に曲げ試験による薄鋼板用熔接棒試験方法が高い精度と合理性を有することがほぼ明らかとなり、今後更にこの点に研究の重点を注ぐべきであることが示された。

【III】 第二次実験

第一次実験において薄鋼板用熔接棒試験方法に対する大体の構想がまとまつたが、その結果再検討を要する点が多くあるので実験の方法を一部改め、更に数種の熔接棒を加え本実験を行つた。

(1) 実験の方法

第一次実験の結果にかんがみ両面熔接の場合のみを行うこととし、 $100 \times 300 \times 2.3t$ の鋼板を用いて前回同様



第4図 隅肉溶接試験片ならびに引張試験用金具
Fig. 4. Test Pieces for Fillet Welding and Hanger for Tension Test

の溶接実験を行つた。引張試験片の最小断面幅は20mmに改め、曲げ試験方法その他は第一次実験の場合と同様である。更に本実験ではあらたに下向、流し溶接で第4図に示す如き隅肉溶接試験片を作製し、抗張力と隅肉強度との関係及び隅肉溶接によつて溶接棒の特別な性能について知ることが出来るか否か等について検討を試みることにした。作業性能試験における重要度指数の採り方は第一次実験によつて検討された点について充分な考慮を払い第5表の如く定めた。尙供試溶接棒は第6表に示す如き18種である。

(2) 実験の結果

機械性試験結果、作業性能総合点数を第7~8表に示す。曲げ試験に馴れるに従い良好な試験を施行することが出来て誤差を小範囲に止めることが出来た。第7表の抗張力は二本の平均値、曲げ角度は第一次実験の結果も合せて($\bar{x} \pm \sigma$) (σ =標準偏差)を用いた実験値の整理を

第5表 第二次実験に於ける試験項目と重要度指数

Table 5. The Items for Usability Test and their Individual Weight (2nd Test)

作業性		外観検査		破面検査	
(1) アークの安定度	0.30	(1) ビード波形の均等性	0.30	(1) 有害な組織	0.40
(2) 熔融の均等性	0.20	(2) ビード表面の気孔	0.30	(2) 気孔	0.25
(3) スラッグの流動性	0.25	(3) ビード表面の亀裂	0.10	(3) スラッグの捲込	0.25
(4) 溶込の適度	0.15	(4) オーバーラップ	0.15	(4) 亀裂	0.10
(5) 棒端の状況	0.10	(5) アンダーカット	0.15		

行い、飛びはなれた点は除外し、結果の検討を容易にした。

隅肉溶接試験片の加工は非常に困難なものであり、又2.6~2.0mmφ溶接棒の場合でも隅肉底板に9mm鋼板を用いたため溶接が著しく困難であつた。破断はすべて溶接部で生じていた。

第6表 供試溶接棒

Table 6. Samples of Welding Electrodes

試番並に溶接棒名	棒径 (mm)	溶接施行					
		衝合溶接				隅肉溶接	
		下向	流し	横向	上向	下向	流し
1. 神戸製鋼 B-2	3.2	◎	◎	◎	◎	○	○
2. " T-2	"	◎	◎	◎	◎	○	○
3. 理化ロード 薄塗	"	○	○	○	○	○	○
4. " 厚塗	"	○	○	○	○		
5. 試作 No. 1	"	◎	◎	◎	◎	○	○
6. " No.14	"	◎	◎	◎	○	○	○
7. " No.17	"	◎	◎	◎	○		
8. " No.22	"	◎	◎	◎	○		
9. 川崎車輻	"	○	○	○	○	○	○
10. 東洋ロード (A)	"		●				
11. " (B)	"		●				
12. 神戸製鋼 B-2	2.6	◎	◎	◎	◎	○	○
13. 山岡	"	○	○	○	○	○	○
14. 川崎車輻	"	○	○	○	○	○	○
15. 神戸製鋼 B-0	2.4	●	●	●			
16. " B-17	2.0	◎	◎	◎	◎	○	○
17. 今西	"	◎	◎	◎	◎	○	○
18. 矢島	"	●	●				
棒種数		16	18	15	14	12	11

(註) (1) ◎.....前にも実験に供した溶接棒
○.....今回のみ実施した溶接棒
●.....前回のみ " " "
(2) 以後溶接棒名は代名試番にて示す

[IV] 結果の検討

以上の如き第二次実験の結果を総合し試験方法を決定すべく検討を試みた。

(1) 機械的性質と作業性能との関係

第一次実験において行つたと同様の手続によつて機械的性質と作業性能との関係を検討してみると次の如くである。

(A) 曲げ角度
曲げ角度と各向作業性能点数との関係について相関係数の計算を行うと第9表の如くである。
これらのうち下

第7表 衝合せ熔接試験結果

Table 7. Test Results of Butt Weld

熔接棒試験番	下向熔接			流し熔接			横向熔接		上向熔接	
	抗張力 (kg/mm ²)	曲げ角度 (°)	隅肉強度 (kg/mm ²)	抗張力 (kg/mm ²)	曲げ角度 (°)	隅肉強度 (kg/mm ²)	抗張力 (kg/mm ²)	曲げ角度 (°)	抗張力 (kg/mm ²)	曲げ角度 (°)
1	46.7	121	22.7	46.6	51	21.2	45.9	124	46.4	107
2	46.1	130	24.6	46.7	59	21.1	42.0	115	46.1	94
3	43.7	93	18.8	46.1	54	14.2	44.9	80	45.5	61
4	45.4	99		45.1	75		47.3	115	42.9	95
5	42.7	56	13.8	46.8	74	11.2	44.7	49	42.5	56
6	39.7	69	14.8	35.9	38	14.9	43.0	73	44.0	47
7	42.2	64		38.4	22		41.8	55	28.4	50
8	42.1	59		40.0	41		38.7	48	48.1	51
9	44.3	82	20.7	43.1	81	15.1	44.7	68	45.5	83
10				41.9	41					
11				39.9	57					
12	44.3	136	27.0	35.4	95	14.2	46.8	129	39.8	99
13	44.2	91	28.7	30.2	46	21.4	44.5	76	49.2	63
14	45.8	73	21.3	45.6	56	5.8	45.6	73	34.0	91
15	43.1	125		35.0	85		33.6	93		
16	44.6	104	31.0	45.5	87	26.6	45.7	126	52.4	120
17	48.2	126	30.0	47.4	86	15.6	45.1	109	44.7	111
18	38.6	38	34.4	39.5	68					

向及び横向作業性点に於てNo. 9, 14, 18は著しく点が飛びはなれ相関係数を低くする。これらの熔接棒はガスシールド式に属するものであつて下向、横向において作業は非常に容易であるが、この系統のものにありがちな外観、破面等が劣るので曲げ試験成績も悪いものと考えられる。いまこれらの点のみを除いて相関係数を計算すると、第14表括弧内に示す如き数値となる。流し熔接は第一次実験の結果と同様いずれも相関係数小さく、この熔接法における熔接棒の検定施行が著しく困難であり特殊性を有するものであることがわかる。しかし外観検査流しの場合を除けば他はいずれも5%以下の確率で曲げ角度と感覚的な作業性能採点結果との間に相関ありといふことが出来る。

第3~4表の

第8表 作業性能総合点数

Table 8. Total Rist of Marks for Usability

熔接棒試験番	下向熔接			流し熔接			横向熔接			上向接熔		
	作業性	外観	破面									
1	75.0	91.8	93.0	64.5	74.5	80.5	79.8	86.5	93.1	65.0	80.6	88.8
2	83.0	92.3	96.0	61.5	73.0	75.6	75.8	92.5	91.1	79.0	82.8	87.5
3	68.5	71.6	69.5	69.0	70.8	63.5	65.0	82.1	68.5	69.0	73.0	62.8
4	70.5	72.3	74.1	67.5	70.0	75.8	67.0	86.5	78.8	59.0	62.5	57.0
5	58.0	76.0	71.6	65.5	76.0	67.0	62.0	80.5	51.3	59.5	76.8	89.8
6	60.3	76.0	54.8	64.0	79.0	60.8	61.5	81.3	64.1	59.5	62.5	62.5
7	53.3	73.0	49.8	49.5	74.5	39.1	55.2	65.6	43.3	49.8	58.0	53.0
8	59.0	76.0	52.3	64.0	73.0	58.1	59.0	67.0	52.3	61.5	61.8	48.8
9	83.0	84.3	77.6	79.6	88.0	72.5	83.3	82.8	76.1	82.3	75.3	80.5
10				61.0	58.0	51.8						
11				59.3	52.0	72.0						
12	79.5	91.0	81.0	70.5	83.5	62.0	79.5	85.1	88.1	76.8	77.5	59.3
13	76.0	89.5	86.3	70.5	35.0	60.3	72.8	79.0	76.3	75.0	79.0	79.0
14	78.3	85.0	57.8	75.8	86.5	62.3	75.8	74.5	62.3	77.3	76.8	60.1
15	79.5	41.4	83.5	70.0	68.5	64.8	79.0	73.0	71.1			
16	76.0	85.0	71.0	70.5	90.3	92.0	77.0	89.5	92.0	74.3	86.5	90.0
17	77.0	91.0	88.5	64.8	90.3	86.3	76.8	89.5	93.8	78.8	88.0	81.8
18	68.0	70.5	61.6	64.8	67.1	47.6						

第9表 作業性能点数と曲げ角度との関係

Table 9. Relation between Usability and Bending Angle

項目	熔接局	試料数	相関係数 (r)	t-分布検定 仮定 ρ=0	
				$t_0 = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{N-2}$	$P_\gamma\{ t > t_0 \}$
作業性	下	16	0.698(0.868)	3,672(5,808)	0.01 > P _γ > 0.01 (0.001 > P _γ > 0)
	流し	18	0.587	2,900	0.02 > P _γ > 0.01
	横	15	0.356(0.838)	1,371(5,074)	0.2 > P _γ > 0.1 (0.001 > P _γ > 0)
	上	14	0.611	2,668	0.05 > P _γ > 0.02
外観検査	下	16	0.816	5,275	0.001 > P _γ > 0
	流し	18	0.369	1,588	0.2 > P _γ > 0.1
	横	15	0.752	4,102	0.01 > P _γ > 0.001
	上	14	0.719	3,581	0.01 > P _γ > 0.001
破面検査	下	16	0.797	4,913	0.001 > P _γ > 0
	流し	18	0.594	2,957	0.01 > P _γ > 0.001
	横	15	0.902	7,520	0.001 > P _γ > 0
	上	14	0.551	2,335	0.05 > P _γ > 0.02

第10表 抗張力と曲げ角度との関係

Table 10. Relation between Tensile Strength and Bending Angle

熔接	試料数	相関係数 (r)	t-分布検定 仮定 ρ=0	
			$t_0 = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{N-2}$	$P_\gamma\{ t > t_0 \}$
下向	16	0.414	1.703	0.2 > P _γ > 0.1
流し	18	0.201	0.822	0.5 > P _γ > 0.4
横向	15	0.297	1.081	0.3 > P _γ > 0.2
上向	14	0.266	0.954	0.4 > P _γ > 0.3

結果と対照すると相関係数の著しく上昇したのがある。これは重要度指数の採り方を改めたための変化であると考えられその合理的であることが証明される。下向横向等では大略同程度の数値を示しておりただ t-分布検定結果のみ異つている。これは試料数の大小から生じたものであつて、これによつて今回の実験結果から熔接棒の曲げ角度と作業性能との相関に関する理論的推論の正しさが明らかにされたものと考えられる。

(B) 抗張力

先にも抗張力と作業性能点数とはあまり関係がないことを述べたが、試みに前項で作業性能点数と極めて良好な相関々係を示した曲げ角度との相関係数を計算してみると第10表の如くである。

これでは良好な相関とはいいい難く殊に流し、上向の場合は劣る。普通鋼材においては抗張力と曲げ角度は相反

する場合が多いが、熔接部抗張力は熔接棒の特殊性によつて変化すること多く、たとえば熔着状況の完全なものは熔着鋼の靱性は劣つていても強度は大で、しばしば母材部より破断し、従つて抗張力は比較的低い母材強度で表わされることになる。このように引張試験は熔接棒の広範囲な性能良否に対して大きな意味をもつことは出来ず、ただ従来の経験からくる必要な数値を規定するだけに止まるべきものと考えられる。

(C) 隅肉強度

薄鋼板用熔接棒によつて隅肉熔接を行う場合は相当多いがこのように複雑な試験を加えることに多分の疑義が持たれる。しかしこの試験を行うことによつて特に熔接棒性能判定に関して有力な結果が見出されるとすれば充分な考慮を払わねばならない。今隅肉試験結果と作業性能あるいは曲げ角度との関係を相関係数

をもつて表わしてみると第11表の如くである。

この結果によると下向各成績、及び流し破面とは良好な相関を持つが他の場合は衝合せ熔接部曲げ試験の如き明瞭な関係が見出されない。従つて前者の場合は衝合せの熔接曲げ試験と同様の結果が得られることになり、特に本試験を用いた効果は得られない。後者の場合はその結果を詳細に検討すると大部分試験片板厚の不適當、機械加工の誤差等の原因によつて生じたものと考えられ、下向の場合はある程度これらの悪条件を克服し得るが、流し熔接では熔接結果に著しく影響するためと思われる。従つて本試験方法は薄鋼板用熔接棒の検定法としては更に充分検討の必要があり、むしろ衝合せ熔接曲げ試験の方がより簡易にして有効であると考えられる。

[V] 薄板用熔接棒試験方法の決定

以上述べた如き実験検討の結果、薄鋼板用熔接棒試験方法として衝合せ熔接部曲げ試験が最もよく熔接棒の良否を表し、これに重点をおけば作業性能採点、引張試験等はあまり重視しなくとも合理的な検定が施行され得ることが明らかとなつたがその判定基準の決定には尙慎重な考察が必要である。

(1) 曲げ角度ならびに作業性能点数の判定基準決定

作業性能の感覚的採点結果と曲げ角度との間に高い相関々係のあることがわかり、理論的には曲げ角度のみで簡単に作業性能の良否判定がなし得ることとなり、我々のはじめに意図した検定方法が実現したわけである。し

第 11 表 隅肉強度と作業性能点ならびに曲げ角度との相関
Table 11. Relation between Fillet Weld Strength, Usability and Bending Angle

項 目	試料数	相 関 係 数 (r)	t-分布検定 仮定 ρ=0	
			$t_0 = \frac{\gamma}{\sqrt{1-\gamma^2}} \sqrt{N-2}$	$P_{\gamma}\{ t > t_0 \}$
下 向 作 業 性	12	0.654	2.733	$0.05 > P_{\gamma} > 0.02$
流 し	11	0.331	1.052	$0.4 > P_{\gamma} > 0.3$
下 向 外 観	12	0.614	2.613	$0.05 > P_{\gamma} > 0.02$
流 し //	11	0.087	0.261	
下 向 破 面	12	0.639	2.624	$0.05 > P_{\gamma} > 0.02$
流 し //	11	0.707	2.482	$0.05 > P_{\gamma} > 0.02$
下 向 綜 合 点	12	0.701	3.104	$0.02 > P_{\gamma} > 0.01$
流 し //	11	0.343	1.095	$0.4 > P_{\gamma} > 0.3$
下 向 曲 げ 角 度	12	0.562	2.147	$0.1 > P_{\gamma} > 0.05$
流 し //	11	0.056		

$m_3 = \gamma \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_y} \right) \dots \dots y$ の上の x の
回帰係数

推定値と測定値の間に $\gamma=1$ でない限り偏差が生ずる。即ち回帰直線の周りに各点の凝集している平均の状態を知る必要がある。これは評価値の標準誤差とよばれ次式で求めることが出来る。この値を計算してみると第 12 表の如くなる。

$S_x = \sigma_x(1-\gamma^2)^{1/2} \dots$ 推定値 x から
の測定値 x の偏差

$S_y = \sigma_y(1-\gamma^2)^{1/2} \dots$ 推定値 y から
の測定値 y の偏差

尙この意味を図示してみると第 5 図の如くである。

この結果によると作業性能点に重点を

第 12 表 評価値の標準誤差(曲げ角度と作業性能点数)
Table 12. Standard Error of Estimated Value (Bending Angle and Usability)

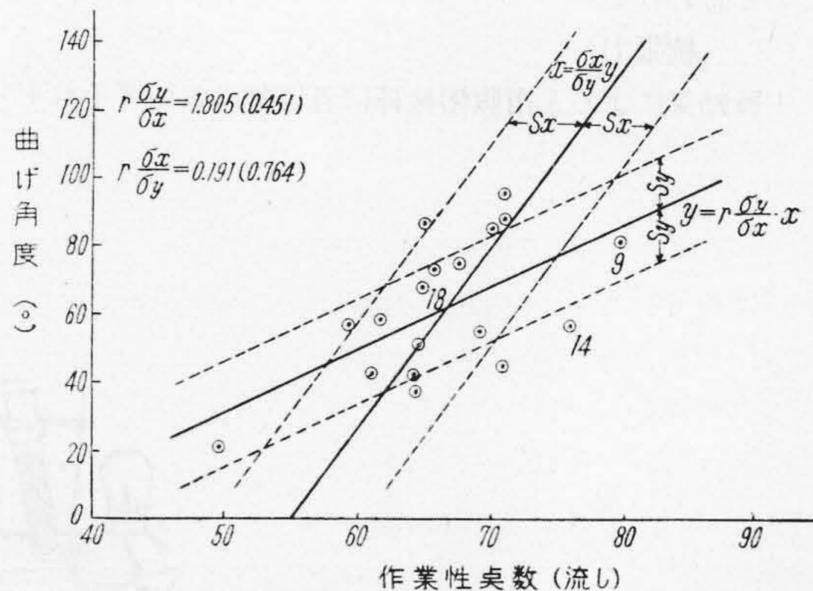
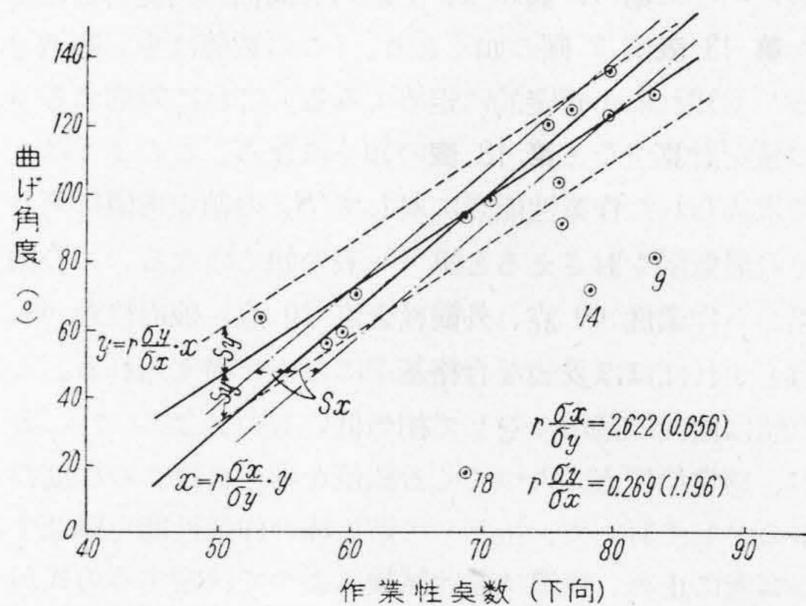
項 目	熔接向	S_x	S_y	\bar{x}	\bar{y}
作 業 性	下 向	4.64	13.60	74.5	97.7
	流 し	5.22	16.03	66.2	62.0
	横 向	4.58	15.73	70.0	91.7
	上 向	7.31	18.98	69.1	80.6
外 観 検 査	下 向	4.50	16.93	82.6	91.6
	流 し	9.64	18.41	75.5	62.0
	横 向	5.13	18.33	81.0	88.9
	上 向	6.43	16.68	74.4	80.6
破 面 検 査	下 向	8.95	17.69	74.3	91.6
	流 し	10.31	15.93	66.2	62.0
	横 向	6.87	12.01	73.5	88.9
	上 向	11.21	20.00	70.2	80.6

かし熔接の特殊性、特に薄鋼板用熔接棒の場合現状ではまだある程度の性状を確かめる上にこの種作業性の採点を行うことは必要のようであるが、この判定基準点数の決定が問題になる。JES 9001 号の例にそのままならうこともあまり感心せず、あくまでも曲げ試験の補助的試験であるという思想をもつて曲げ角度との関係を検討しつつこれから導き出してみる。

相関係数の計算において各向作業性能点と曲げ角度との関係からそれぞれ回帰直線が求められ、回帰係数は次式であたえられる。しかしこれらの回帰直線から求めた

$$m_1 = \gamma \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_x} \right) \dots \dots x \text{ の上の } y \text{ の回帰係数}$$

おき曲げ角度を決定すると、 S_y が S_x に比し大なるため著しく曲げ角度の低い点が含まれることになる。言い変えると感覚的採点結果では容易に曲げ角度を推定し得ないということになる。従つていま従来の現場作業の経



第 5 図 作業性点数と曲げ角度との関係
Fig. 5. Relation between Usability and Bending Angle

第13表 曲げ角度の合否基準
Table 13. Standard Bending Angle for Passing Examination

溶接向	曲げ角度 (y)	溶接性点 (x)		
		作業性	外観	破面
下向	90	≒67	≒81	≒74
流し	60	≒66	≒75	≒67
横 向	80	≒68	≒79	≒69
上 向	80	≒69	≒75	≒70

第14表 作業性能の合否基準
Table 14. Standard Point of Usability for Passing Examination

溶接向	作業性	外観	破面
下向	62	75	65
流し	61	65	57
横 向	63	74	62
上 向	62	69	60

験ならびに第12表の \bar{x} , \bar{y} から各向曲げ角度合否基準を第13表第2欄の如くとり、(この数値は少し高過ぎるかも知れぬが暫定的に定めてみる) これに対応する x の値を計算すると第13表の如くなる。このようにして求められた作業性能点に対して S_x の値を考慮に入れてその最低限をおさえると第14表の如くなる。この結果から作業性60点、外観検査点70点、破面検査60点とすればほぼ妥当な合格基準になると考えられる。この値は曲げの基準に対して相当低いものとなつていますが、感覚的採点に入ってくる誤差を考えればこの程度のものでおいて、主として溶接棒の作業性能を確認する参考に止め、実質は曲げ試験によつて決定する方式がよいと思われる。

(2) 抗張力

実験結果によると市販溶接棒は各姿勢においてそれぞ

れ相当良好な値を示している。薄鋼板用溶接棒にあつては4~5 mmφ 棒の如く強度をそれ程重視しなくても実用にさしつかえないものと考えられ、むしろ抗張力はやや低くても曲げ角度の良好なものがよい。従つて検定基準としては抗張力 40 kg/mm² 以上と規定するのみでよいと考えられる。

[VI] 結 言

以上薄鋼板用溶接棒の試験方法を決定するために第一次、及び第二次実験を通じて2.3mm 軟鋼板を使用して拾数種の溶接棒を用い、片面、両面衝合せ溶接による引張試験、曲げ試験、隅肉溶接試験、作業性能試験等を行つたが、その結果曲げ試験によれば最もよく溶接棒の良否判定を行うことが出来ること、作業性能試験はあまり重視せず溶接棒の性状を参考程度に確認する補助的な試験方法とすべきこと、抗張力は40 kg/mm² 以上とすべきこと等を明らかにした。又本研究においては上述の如き試験方法の決定のみならず、薄鋼板用溶接棒の特殊性を種々検討することが出来、今後の溶接棒試作研究の上に益するところが大きかつた。

この結論に従つて車輛部会メンバーの各社でも数拾種の溶接棒について検定試験を実施したが良好な結果が得られ充分実用に供し得ることが明らかにされた。然し流し溶接に対する良否の判定は尙問題が存し、完全とはい得ない様である。この点に関しては更に研究を進めている。

最後に本研究を遂行するに当つて終始御激励並びに御意見を賜つた鉄道技術研究所大塚所長、及び車輛部会細経棒委員会の方々、並に佐々木第一客電車課長、元田研究課長、繁雑な実験に従事された吉元、田中の諸氏に厚く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 安田 笠戸研報 昭24~9号(昭24-4)

