

Temp. No. ②：曲げ試験におけるローラ曲げ試験適用の追加

### 1. 現状

現状の曲げ試験は、型曲げ試験を基本としているが、対象により表②-1 に示すように型曲げ試験とローラ曲げ試験の適用可否が区別されている。

表②-1 曲げ試験の対象と種類

対 象	曲げ試験の種類	
	型曲げ試験	ローラ曲げ試験
溶接士技能試験	○	○
溶接施工法試験	○	×
構造物の機械試験	○	△

○：適用可能                      ×：適用不可能

△：条件付で適用可能（条件：厚さが 10 mm 未満の場合であって、曲げ試験を行うことが困難な場合）

### 2. 要望

施工工場からの要望を表②-2 に示す。ローラ曲げ試験適用のニーズがある。

表②-2 施工工場からの要望（原文のまま）

現 状	技術基準第 110 条及び別表第 14 にて溶接士の技能試験における曲げ試験はローラ曲げ又は型曲げのいずれの方法も適用できますが、技術基準第 108 条及び別表第 11 にて溶接施工法の曲げ試験は型曲げのみが認められています。
提 案	施工法試験もローラ曲げ及び型曲げを実施可能にさせていただくよう要望します。
理 由	ローラ曲げと型曲げは試験結果に対し影響が無い。 型曲げに限定すると試験片の曲げ半径が異なる度に新たな治具の購入が必要となる（15 万円/個程度） 型曲げ試験用の治具は重量物である為、試験機への搭載作業に危険を伴う。

### 3. 目的

型曲げ試験及びローラ曲げ試験は、両者とも溶接継手部分に所定の曲げを与え、溶接部が健全であるか否かを調べるために行うものであり、以下の理由でローラ曲げによる試験を追加し、型曲げ試験又はローラ曲げ試験により曲げ試験を実施する。

- ① 両者とも所定の歪を与えることが出来る。
- ② ローラ曲げ試験の方が、型曲げ試験より試験用治具の簡便性と経済性に優れる。

#### 4. 検討

##### a. 曲げ試験の目的

曲げ試験は、JIS G 0202 (1987)「鉄鋼用語 (試験)」において「材料の変形能を調べるための試験。通常、試験片を規定の内側半径で規定の角度になるまで曲げ、わん局部の外側の裂けきず、その他の欠点の有無を調べることを言う」と意味づけられている。火技解釈第 10 章においても溶接部の変形能 (延性・伸び) を確認する目的として、機械試験の一つとして曲げ試験が規定されている。

##### b. JIS Z 3122 での基本的な考え方

日本工業規格 JIS Z 3122(1990)「突合せ溶接継手の曲げ試験方法 解説」によれば次のように説明されており、ローラ曲げ試験を基本とした規定となっている。

- 1) 型曲げ試験とローラ曲げ試験の間で試験片に与える歪の状況に大きな差はない。
- 2) 溶接継手部分に適当なある一定の曲げ歪を与えることが必要であり、これには試験片 (t) と曲げ半径 (R) の関係を一定にしておけば、相似的に一定の曲げを与えることができる。

$$R = n \times t$$

ここで、n は材料の種類によって選ばれる数値

計算例 (曲げ半径  $R = 2t$  の場合の例)

例 1: 試験片の厚さ 10 mm の場合の伸び (変形能) ( $\delta_{10}$ )

内側の曲げ半径	$R_{10} = 20 \text{ mm}$
曲げ角度	$180^\circ$
試験片の中立軸の半径	$R_{10\phi} = 25 \text{ mm}$
試験片の外表面の半径	$R_{10S} = 30 \text{ mm}$
$\delta_{10} = 2\pi R_{10S} / 2\pi R_{10\phi} = 1.2$	

例 2: 試験片の厚さ 20 mm の場合の伸び (変形能) ( $\delta_{20}$ )

内側の曲げ半径	$R_{20} = 40 \text{ mm}$
曲げ角度	$180^\circ$
試験片の中立軸の半径	$R_{20\phi} = 50 \text{ mm}$
試験片の外表面の半径	$R_{20S} = 60 \text{ mm}$
$\delta_{20} = 2\pi R_{20S} / 2\pi R_{20\phi} = 1.2$	

曲げ試験において、内側の曲げ半径と曲げ角度が同一の場合は、試験片の厚さが異なった場合でも等価な伸び (変形能) が与えられる。このため、曲げ試験での重要な要素は、内側の曲げ半径と曲げ角度となる。

- 3) ローラ曲げ試験は、簡便かつ経済性があり、将来的にはローラ曲げ試験に統一されるべきと考えられている。
- 4) 関係法規等で型曲げ試験を使用しており、当面型曲げ試験についても残すこととしている。

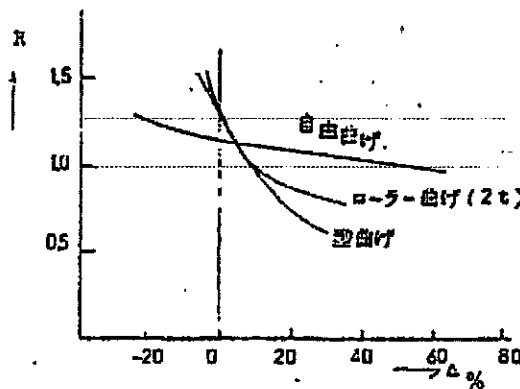
c. 型曲げ試験とローラ曲げ試験の試験データでの比較

1) 母材と溶接部の強度変化による曲げ性[1, 2]

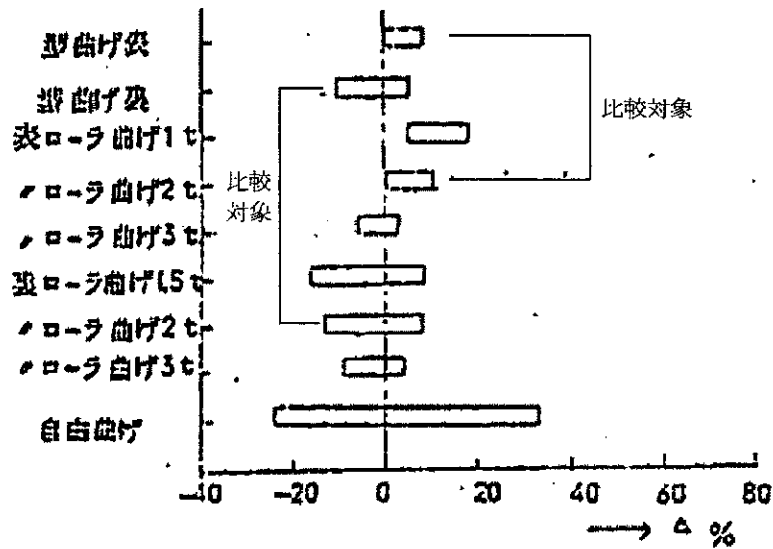
表②-3 に示すように、母材、溶接棒、曲げ試験方法及び曲げ半径を変えて母材と溶接部の強度変化による曲げ性が検討されている。母材と溶接部の強度の相違による曲げ表面の伸びの分布は、試験方法により異なる。試験結果を図②-1 に示す。溶接部と母材の引張強さの比を  $R$  とし、溶接部と母材の伸びの差を  $\Delta$  (%) とし、曲げ試験方法と  $R \cdot \Delta$  との関係を示している。  $R \cdot \Delta$  曲線において、勾配の小さいほど、わずかな母材と溶接部の強度変化のため母材又は溶接部の一方が著しく伸ばされることを意味している。実際の溶接部は、 $R = 1.0 \sim 1.3$  程度であり、型曲げ試験とローラ曲げ試験の差はわずかしかない。 $R = 1.0 \sim 1.3$  の  $\Delta$  を試験方法毎に見たものを図②-2 に示す。この場合、一様な伸びを与えるという点では、型曲げ試験(曲げ半径  $2t$ )、ローラ曲げ試験(曲げ半径  $2t$ ) の順になるが、その差は無視できる程度しかない。

表②-3 試験方法

項目	内容	条件数
母材	軟鋼、50HT、60HT、80HT	4
溶接棒	軟鋼用、50HT用、60HT用、80HT用	4
曲げ試験方法	型曲げ(表曲げ、裏曲げ)、自由曲げ、ローラ曲げ(表曲げ、裏曲げ)	5
曲げ半径	型曲げ(2t)、ローラ曲げ(1t, 1.5t, 2t, 3t)	5



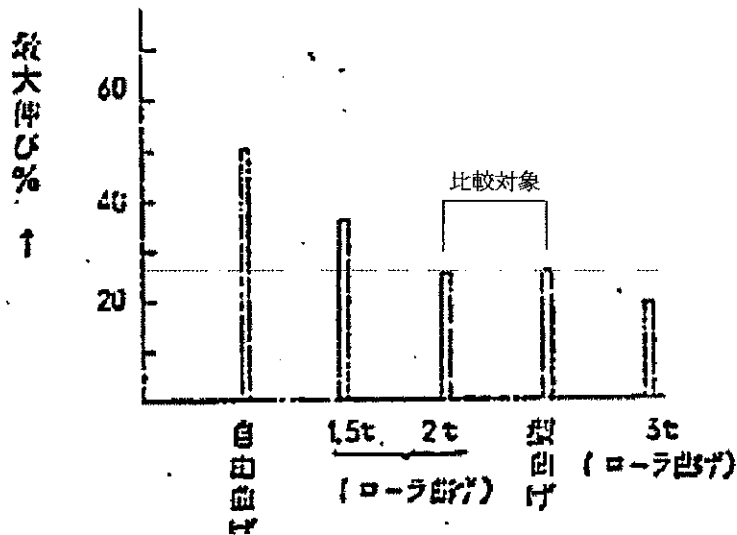
図②-1 曲げ試験方法と  $R \cdot \Delta$  の関係



図②-2 溶接部と母材の引張強さの比  $R = 1.0 \sim 1.3$  での曲げ試験方法

2) 曲げ試験方法による厳格性[1, 2]

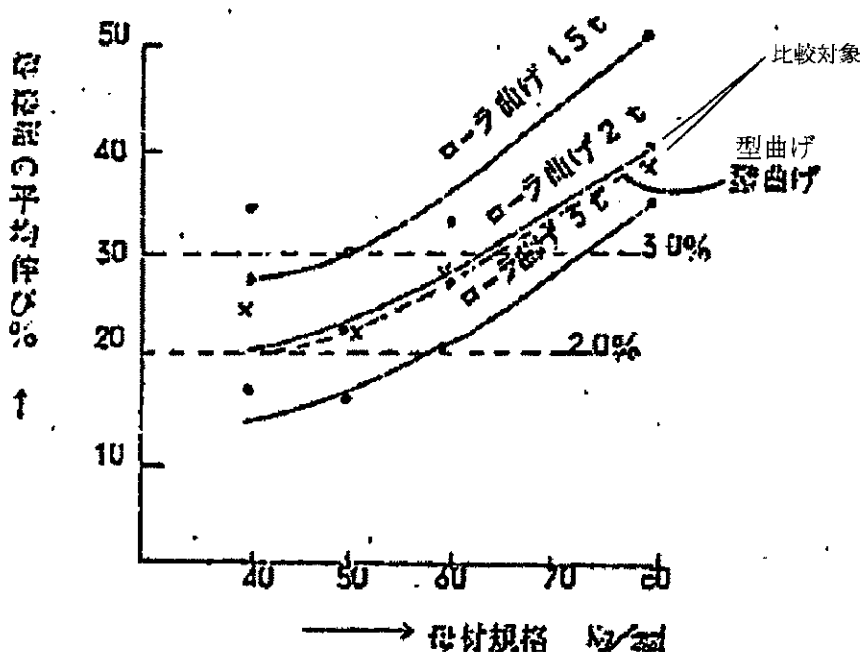
60HT での曲げ表面の最大伸びと曲げ試験方法を図②-3 に示す。のローラ曲げ (曲げ半径  $2t$ ) と型曲げ (曲げ半径  $2t$ ) の最大の伸びは、両者とも約 25% であり差は無い。



図②-3 曲げ試験の最大伸びの比較

3) 曲げ試験方法による母材の強度と伸びの関係[1, 2]

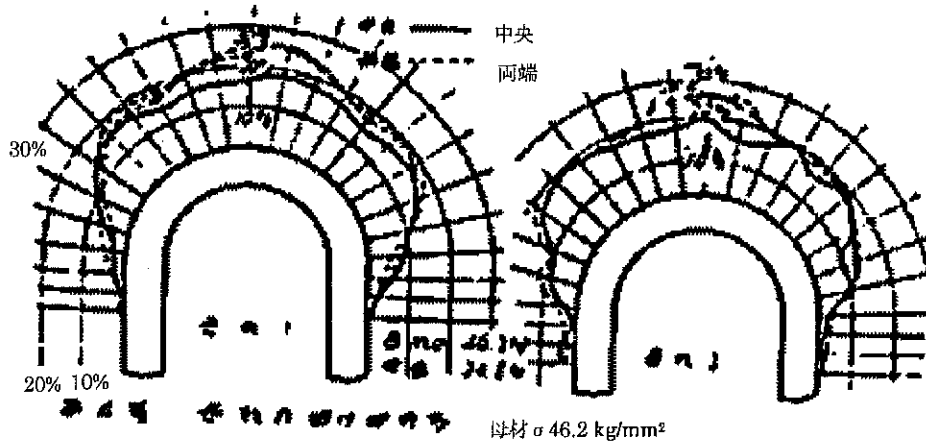
母材の強度とほぼ同じ溶接部を有し、母材の強度を強くした場合の溶接部中央部 15 mm の平均伸びを図②-4 に示す。同一の曲げ半径を有していても、母材の強度が上昇すれば平均伸びは大きくなる。結果として厳格な曲げ試験となる。溶接部中央部でのローラ曲げ（曲げ半径 2t）と型曲げ（曲げ半径 2t）の平均伸びを比較した場合、前者のほうがわずかに厳格な曲げ試験となるがその差は 1% しかない。



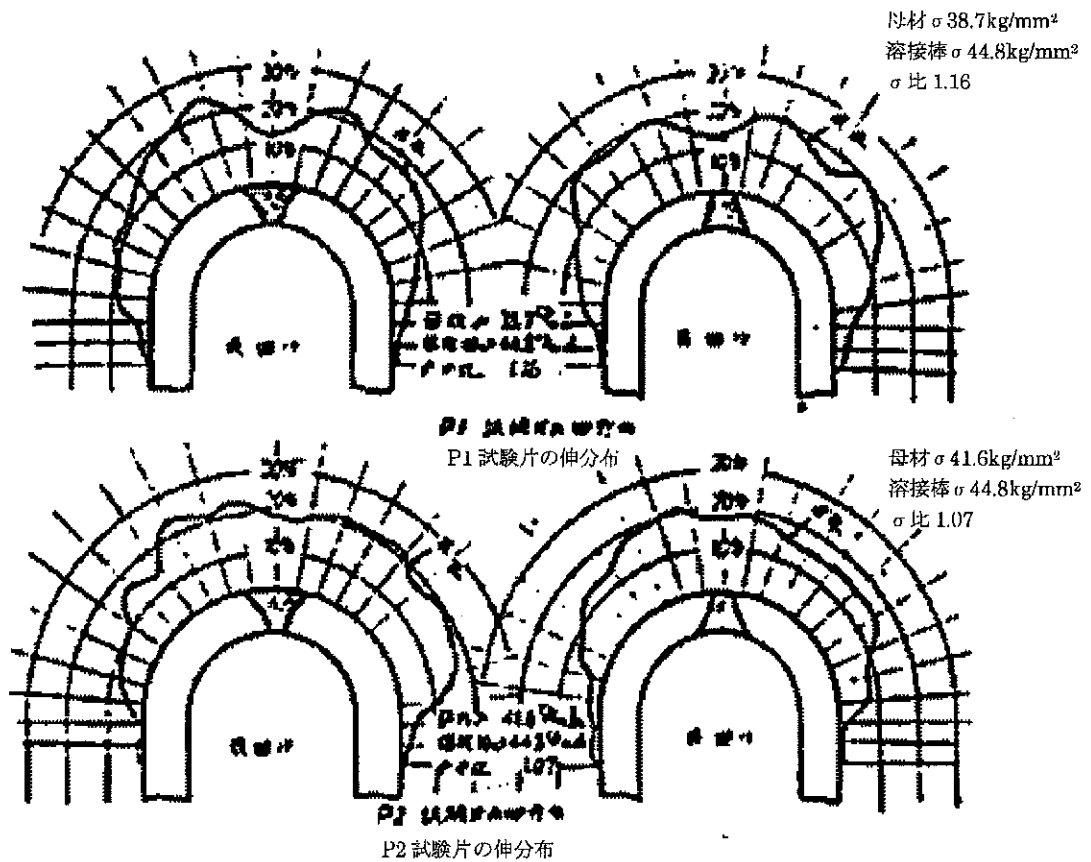
図②-4 溶接部中央部の伸び比較

4) 型曲げ試験とローラ曲げ試験の試験結果データ例[3, 4]

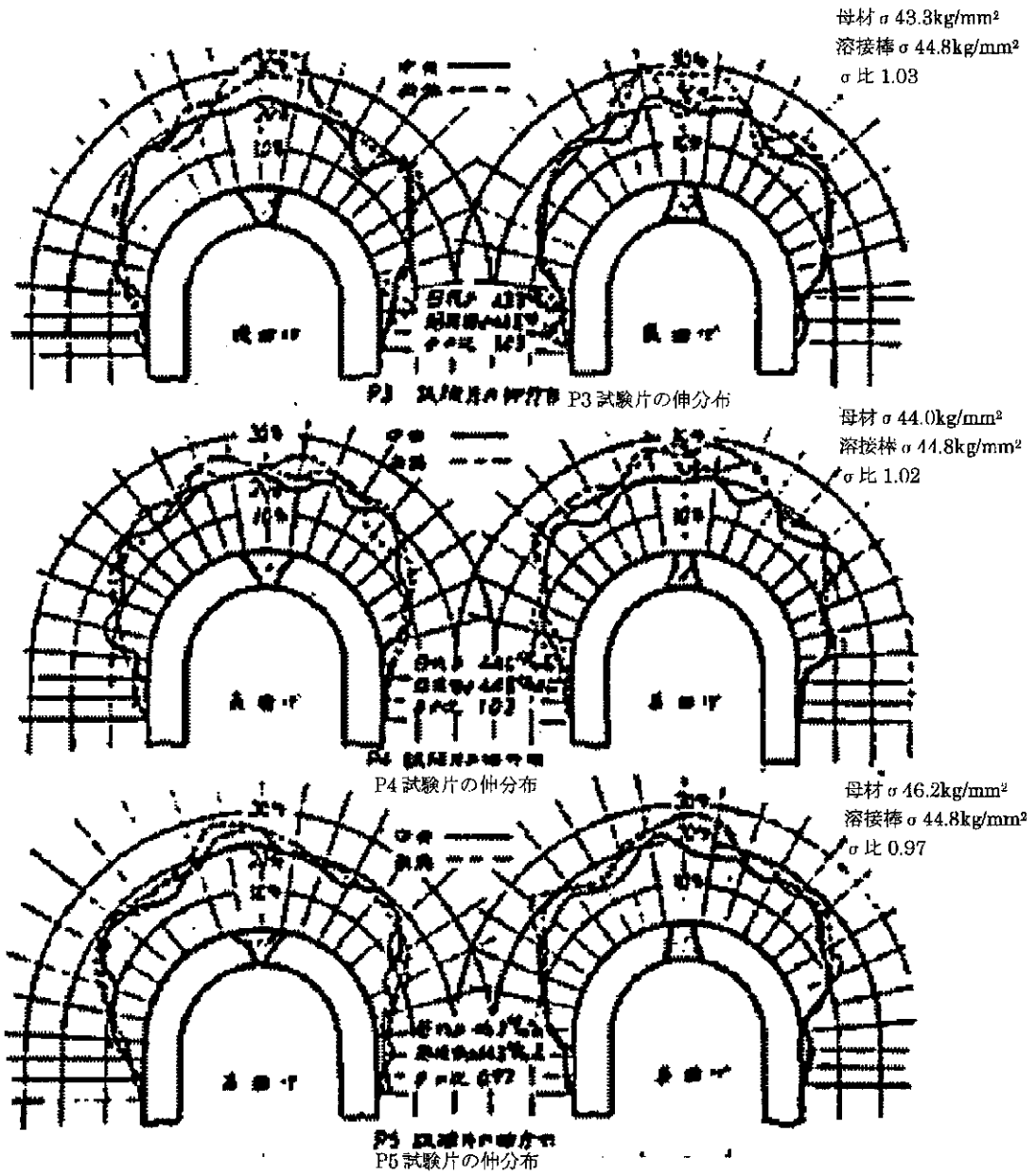
母材及び溶接部の型曲げ試験の結果を図②-5 及び図②-6 に示す。溶接棒を一定とし、母材を換えて溶接を行い、試験片を作成した。その際の溶接棒の機械的性質及び母材の機械的性質を表②-4 及び表②-5 に示す。型曲げ試験片は、2 個中の 1 個は表面に、他の 1 個は裏面にそれぞれ中央部と両端部の 3 箇所に溶接部を中心に 5 mm 間隔の標点を 25 個ずつとり、試験の前後に標点距離を測定して局部伸率を求めた。曲げ半径は 2t で行っている。母材及び溶接部の中央部とも伸率は 20% 程度で分布している。



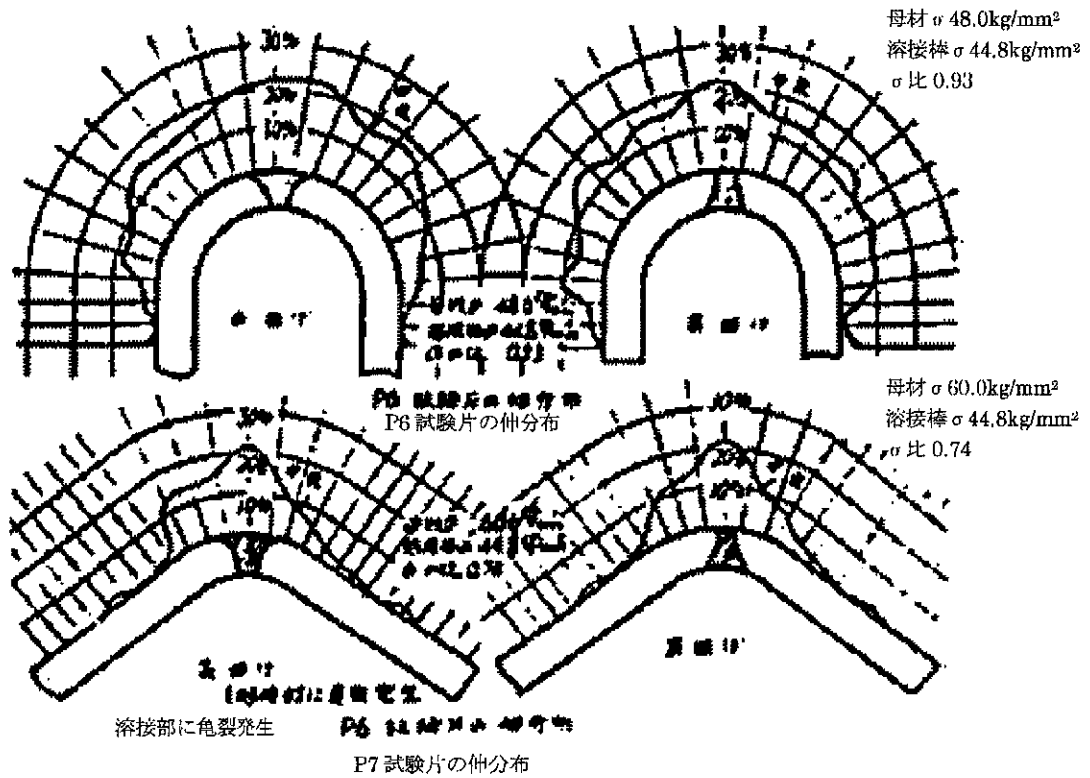
図②-5 型曲げ試験による母材の伸率の分布[3]



図②-6 型曲げ試験による溶接部の伸率の分布 (1/3) [3]



図②-6 型曲げ試験による溶接部の伸率の分布 (2/3) [3]



図②-6 型曲げ試験による溶接部の伸率の分布 (3/3) [3]

表②-4 溶接棒の機械的性質

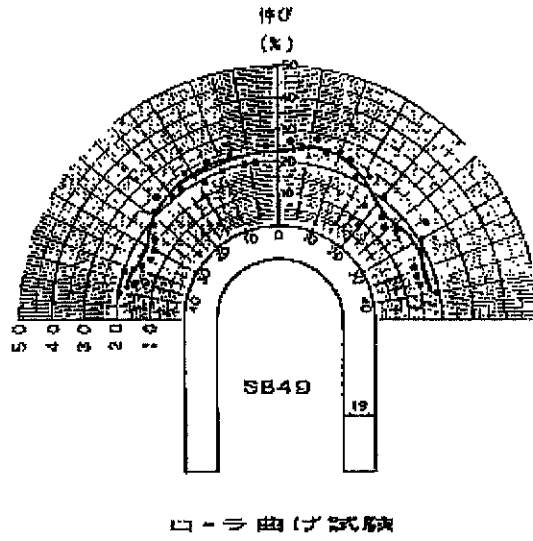
溶接棒	直径 (mm)	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び率 (%)	備考
	4	39.1	44.8	27	



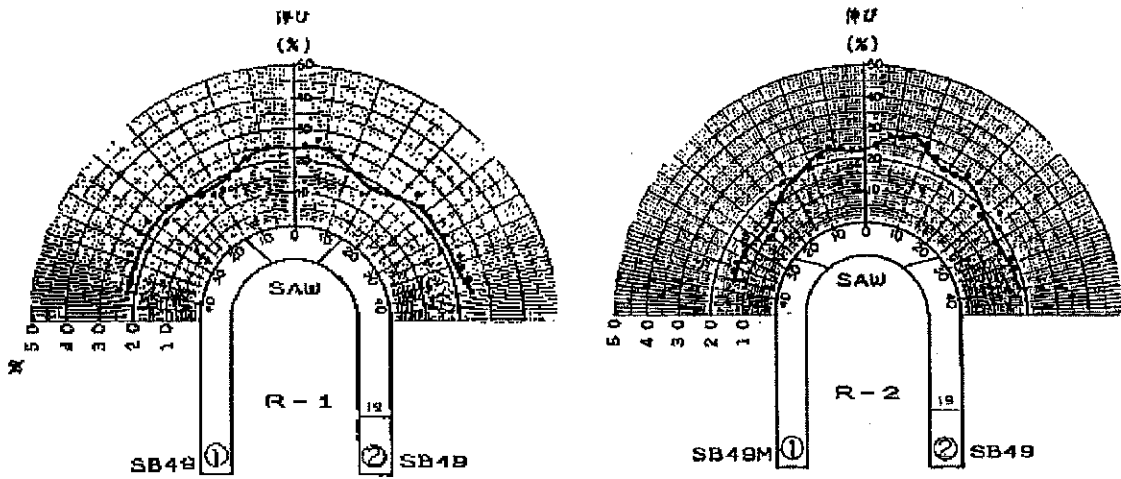
表②-5 母材の機械的性質

試験 No.	板厚 (mm)	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び率 (%)	備 考
P 1	9	24.3	38.7	25.0	
P 2		26.4	41.6	24.8	
P 3		27.5	43.3	28.5	
P 4		27.8	44.0	22.5	
P 5		30.5	46.2	24.8	
P 6		31.6	48.0	記載なし	
P 7		36.4	60.6	23.9	

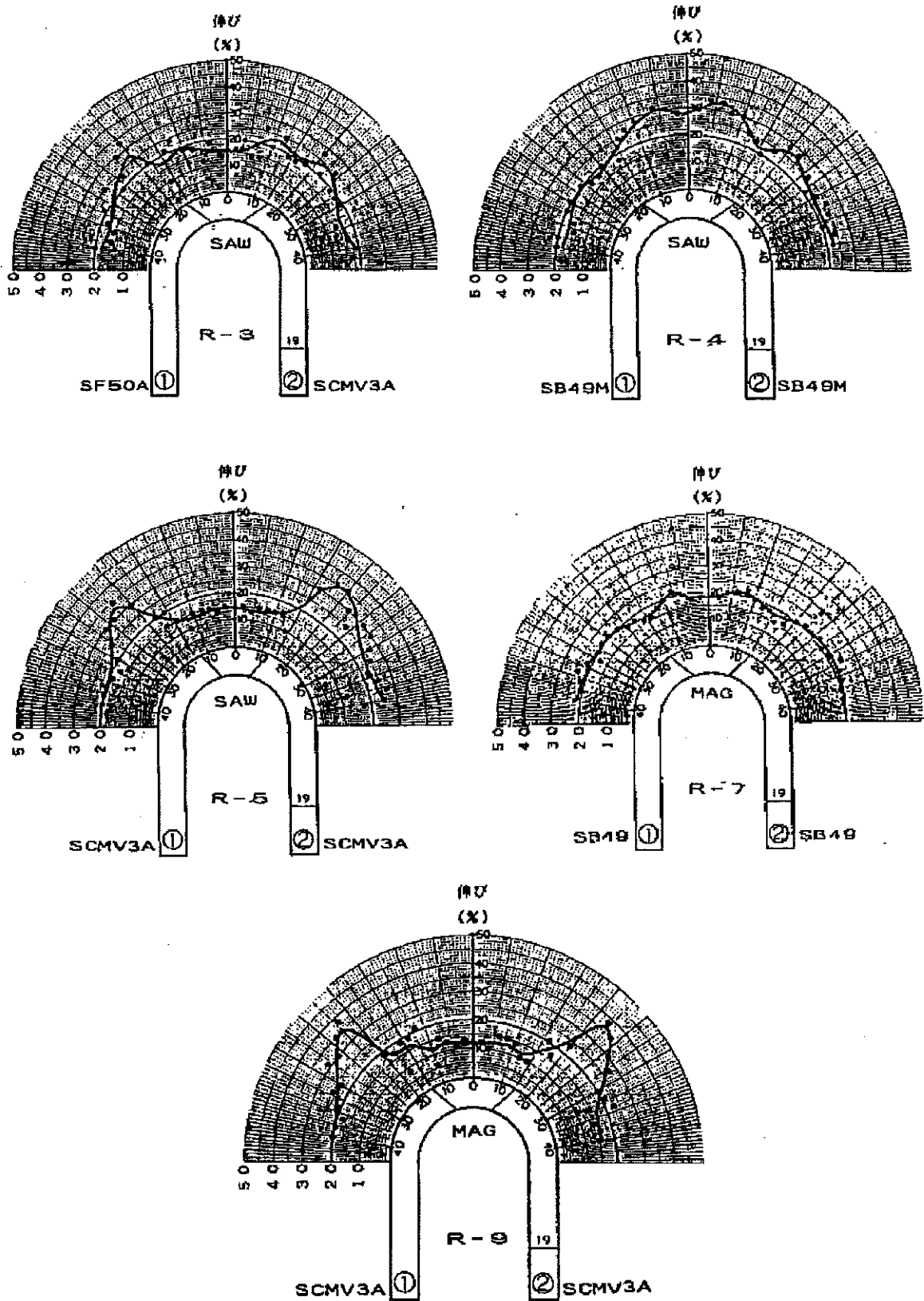
母材及び溶接部のローラ曲げ試験の結果を図②-7 及び図②-8 に示す。母材と溶接材料を換えて溶接を行い、試験片を作成した。その際の試験材の組合せと溶接施工条件を表②-6 に、母材と溶接材料の機械的性質と化学成分を表②-7 に示す。ローラ曲げ試験片は、表面の中央部の溶接部を中心に 2 mm 間隔の標点を 40 個とり、試験の前後に標点距離を測定して局部伸率を求めた。曲げ半径は 2t で行っている。母材及び溶接部の中央部とも伸率は 20%程度で分布している。



ローラ曲げ試験  
図②-7 ローラ曲げ試験による母材の伸率の分布[4]



図②-8 ローラ曲げ試験による溶接部の伸率の分布 (1/2) [4]



図②-8 ローラ曲げ試験による溶接部の伸率の分布 (2/2) [4]

表②-6 試験材の組合せと溶接施工条件

試験 No.	母材		溶接施工条件					PWHT (°C×hr)
			溶接 方法	溶接 材料	予熱 (°C)	棒径 (mm)	電流 (A)	
R-1	SB49	SB49	SWA	G80 US49	156	4.8	700	620×2
R-7			MAG	KM50	156	1.2	250	620×2
R-2	SB49M	SB49	SWA	G80 US49	156	4.8	700	620×2
R-3	SF50A	SCMV3A	SWA	MF29AX US511CN	156	4.8	700	620×2
R-4	SB49M	SB49M	SWA	G80 US49	156	4.8	700	620×2
R-5	SCMV3A	SCMV3A	SWA	MF29AX US511CN	156	4.8	700	620×2
R-9			MAG	MGS1CM	156	1.2	250	620×2

表②-7 母材と溶接材料の機械的性質と化学成分

		機械的性質			化学成分						
		降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び率 (%)	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr
母 材	SB49	36	52	32	0.22	0.27	0.81	0.005	0.004	-	-
	SB49M	42	57	35	0.20	0.22	0.78	0.012	0.009	0.48	-
	SF50A	36	55	27	0.23	0.26	0.97	0.009	0.007	-	-
	SCMV3A	29	48	29	0.08	0.62	0.59	0.014	0.004	0.56	1.31
溶 接 材 料	G80 US49	49	55	28	0.07	0.40	1.32	0.015	0.012	0.46	-
	MF29AX US511CN	46	59	28	0.09	0.24	0.78	0.009	0.009	0.54	1.32
	KM50	48	56	31	0.07	0.51	1.08	0.009	0.006	-	-
	MGS1CM	50	61	28	0.07	0.45	0.94	-	-	0.51	1.23

図②-5 と図②-7 の型曲げ試験とローラ曲げ試験の母材の伸率の分布は、同等の結果となっている。図②-6 と図②-8 の型曲げ試験とローラ曲げ試験の溶接部の伸率の分布は、同等の結果となっている。

## 5. 提案

溶接施工法試験及び構造物の機械試験での曲げ試験を型曲げ試験又はローラ曲げ試験により行うこととする。

ローラ曲げ試験を行う場合は、厚さが 10 mm 以上のとき、厚さをそのままとしてよい。

## 6. 条項等

別表第 11 溶接施工法試験方法及び判定基準（改正提案の箇所に Temp. No.の②を記載）

別表第 30 機械試験（改正提案の箇所に Temp. No.の②を記載）

別表第 31 継手引張試験、型曲げ試験、ローラ曲げ試験及び衝撃試験（改正提案の箇所に Temp. No.の②を記載）

別表第 32 再試験（改正提案の箇所に Temp. No.の②を記載）

## 7. 改正提案の意義

従来より溶接士技能試験の曲げ試験は、型曲げ試験又はローラ曲げ試験で実施（JIS Z 3801 等を準用）している。今回の改正で、溶接士技能試験、溶接施工法試験及び構造物の機械試験における曲げ試験の方法は整合の取れたものとなる。

対 象	現 行		改正案	
	曲げ試験の種類		曲げ試験の種類	
	型曲げ試験	ローラ曲げ試験	型曲げ試験	ローラ曲げ試験
溶接士技能試験	○	○	○	○
溶接施工法試験	○	×	○	○
構造物の機械試験	○	△	○	○

○：適用可能

×：適用不可能

△：条件付で適用可能（条件：厚さが 10 mm 未満の場合であって、裏曲げ試験又は縦曲げ試験を行うことが困難な場合）

## 8. 参考

## a. 他法規での規定

法 規	規 定
高圧ガス保安法 (特定設備の技術基準の解釈)	型曲げ試験又はローラ曲げ試験
ガス事業法 (ガス工作物技術基準の解釈例)	
ボイラー及び圧力容器安全規則 (ボイラー構造規則及び圧力容器構造規則)	

## b. 国内規格での規定

規 格	規 定
JIS B 8265(2003) 「圧力容器の構造一般事項」	型曲げ試験又はローラ曲げ試験
JIS B 8266(2003) 「圧力容器の構造・特定規格」	
JIS B 8201(2005) 「陸用ボイラ・構造」	

## c. 海外規格等の規定

海外規格等	曲げ試験方法				備 考
	型曲試験	ボトムエジェクション試験	ローラ曲試験	巻付曲試験	
ASME B&PV Code Sec.IX	○	○	-	○	
ISO 5173	-	-	○	○	

○：規定している

-：規定していない

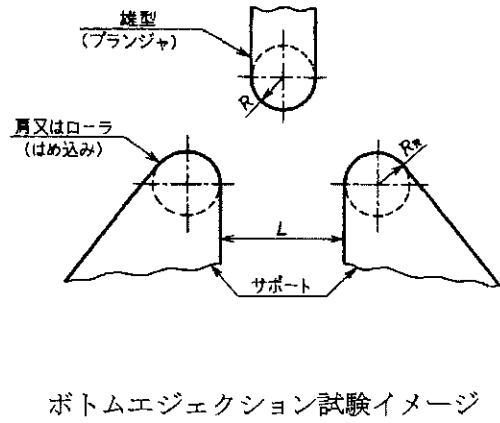
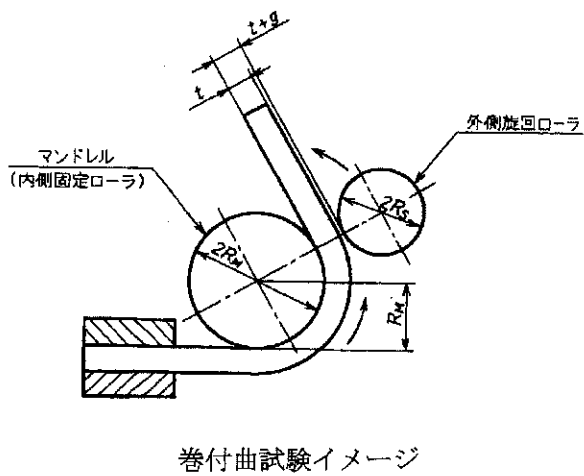
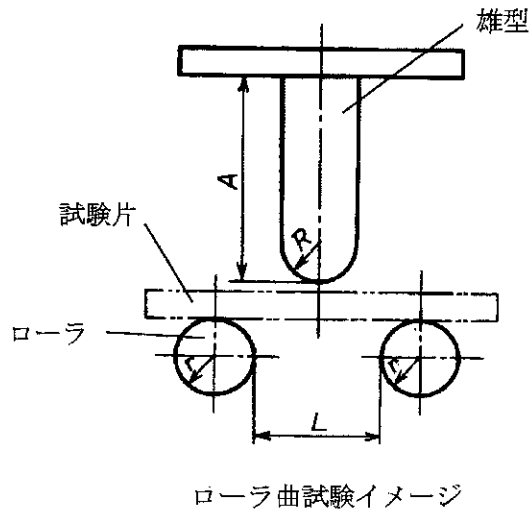
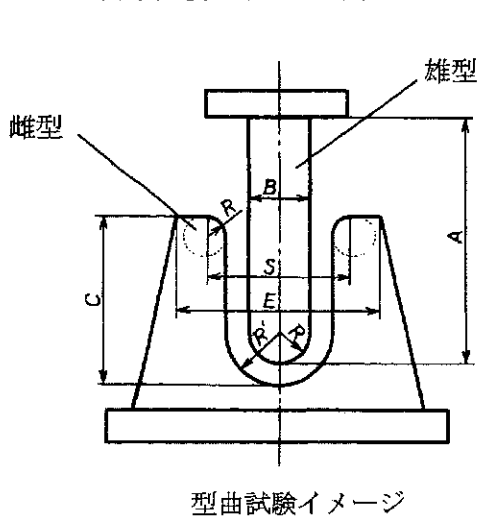
ASME B&amp;PV Code Sec.IX-2006 Add. : Welding and Brazing Qualifications

ISO 5173-2000 : Destructive Test on Welds in Metallic Materials – Bend Tests

- (a) ASME における型曲試験及びボトムエジェクション試験は、雌型の肩部をローラに代えることが可能な規定となっている。
- (b) ASME における型曲試験は試験片と金型の間に  $\phi 1/8$  in. (3.2 mm) の針金が差し込めなくなるまで試験片を押し込まなければならないとの規定がある。曲げ角度を規定していないため、この規定があるものと推定している。
- (c) ASME におけるボトムエジェクション試験は試験片が底部に突き当たるまで試験



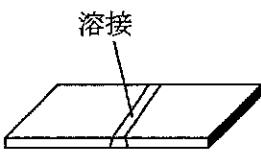
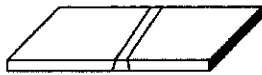
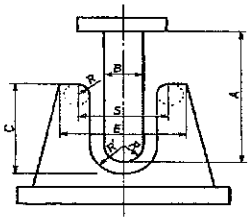
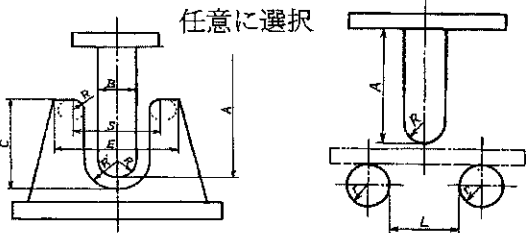
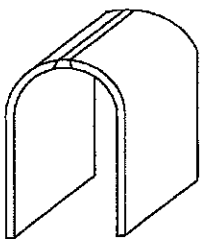
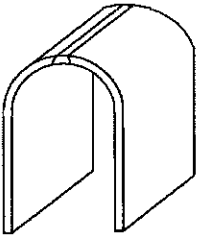
片を押し込まなければならないとの規定がある。曲げ角度を規定していないため、この規定があるものと推定している。

d. 曲げ試験のイメージ図



9. イメージ

イメージを図②-9に示す。

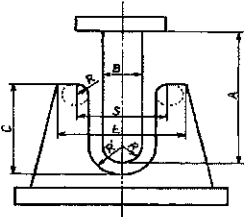
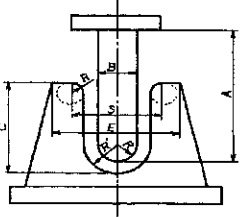
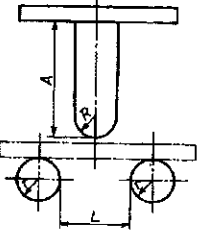
曲げ試験 主要ステップ	現 状	改正提案
ステップ 1  溶 接		
ステップ 2  試験片加工		
ステップ 3  曲げ試験		
ステップ 4  合否判定		

図②-9 曲げ試験におけるローラ曲げ試験適用の追加のイメージ

10. JIS における曲げ試験の経緯 (参考)

JIS の手溶接技術検定における曲げ試験方法の経緯について、図②-10に示す。



曲げ試験方法			<p style="text-align: center;">任意に選択</p> 
JIS Z 3801 の年版	1954	1964	1997 (現行)

図②・10 JISの手溶接技術検定における曲げ試験方法の経緯（厚板）  
（社団法人 日本溶接協会、溶接工検定委員会 20年史）

#### 11. 関連するISOの改正動向（参考）

JIS Z 3122 に対応する国際規格として ISO 5173 「Destructive tests on welds in metallic materials・Bend tests」がある。2000年版ではローラ曲げ試験と巻付け曲げ試験が規定されている。現在、ISO TC 44/SC 5においてISO 5173に型曲げ試験を追加し、曲げ試験は、ローラ曲げ又は型曲げとする案が審議されており、ISO/DIS 5173の段階までなっている。

JISの改正当方から推察すると、JIS Z 3122が改正された場合、ISO 5173に整合させることになるかと推定できる。既にローラ曲げ又は型曲げによる試験が規定されているため、巻付け曲げ試験が追加されることになると思慮している。

#### 参考文献

- [1]日刊工業新聞社、溶接技術講座 12、溶接部の試験と検査、1964年
- [2]溶接棒の研究、No.6 溶接継手の曲げ試験、賀来他、1963年
- [3]型曲げ試験に及ぼす母材の引張強さの関係、溶接技術 1957年 9月号、横田清義、江藤祐春
- [4]発電技検データ