



Title	MAG溶接における融合不良, 溶込み不良の発生要因
Author(s)	鵜飼, 隆好; Ukai, Takayoshi; 高田, 寿明 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 165, 31-40
Issue Date	1993-07-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42377
Type	departmental bulletin paper
File Information	165_31-40.pdf



MAG溶接における融合不良, 溶込み不良の発生要因

鶴飼 隆好*) 高田 寿明*) 石川 孝一**)

(平成5年3月29日受理)

On the Factors of Generating Incomplete Fusion and Incomplete Penetration Defects in MAG Welding

Takayoshi UKAI, Toshiaki TAKADA and Kouichi ISHIKAWA

(Received March 31, 1993)

Abstract

This study is concerned with the factors of generating incomplete fusion and incomplete penetration defects in the popular MAG welding. The experiments were performed under the intensionally different conditions from the optimum conditions in the welding. The experimental assesments were carried under macroscopic test and the JIS bending test.

The summaries of this study are as follows:

- (1) All the factors of generating incomplete fusion and incomplete penetration defects in welding became clear.
- (2) The mechanisms of generating those defects became clear.
- (3) As being applied the interpretive structural method, the directed graph which showed the relations of these each factors was proposed. This graphic expression is very useful to the education and training for welding operator.

1. 緒 言

溶接技能試験において、融合不良、溶込み不良などの欠陥はブローホールと称する気孔欠陥に次いで多くみられる。溶接継手の品質向上を目指すには、継手の健全性および機械的性能の低下に大きな影響を与える溶接欠陥に対して適切な防止策を講じる必要があり、またそのためにはこれら溶接欠陥の発生傾向、発生機構を明らかにする必要がある。

本研究は、溶接施工時における溶接技能者の諸々の不手際により、溶接欠陥、特に融合不良および溶込み不良が生ずる場合を想定し、溶接施工時に溶接技能者によって変化すると考えられる溶接条件、すなわちビードの偏り幅、チップ母材間距離、溶接速度、ルート間隔、ルート面長さ等を適正条件から故意に偏らせることにより、人為的にこれらの溶接欠陥を誘発させた試験片を製作して、曲げ試験およびマクロ試験片による非接合深さの測定を行い、試験結果による性能評価と偏らせた溶接条件の関係から融合不良、溶込み不良の発生傾向、発生機構を検討したものである。溶接条件と、結果とし

*) 機械工学第二学科 機械設計学講座

***) 日立製作所

て現われる溶接現象の関係をISM手法により解析し、その結果を有向グラフにまとめて溶接施工時に考慮しなければならない項目の順位づけを行なった。このグラフは、溶接技能者の接合技術研修や教育のために極めて有用であると考ええる。

2. 供試材料および実験方法

2.1 供試材料

供試材料として一般構造用圧延鋼材SS400を使用した。化学組成ならびに機械的性質を表1に、溶接試験材の形状および寸法を図1に示す。性能試験に用いる試験片としては、溶接を終えた試験材から、図2のように溶接方向に40mmの幅で切り出したもの2枚を曲げ試験に使い、25mmの幅で切り出したもの1枚でマクロ組織試験を行った。

表1 供試材の化学組成と機械的性質

材 質	化 学 成 分	
	SS400	P < 0.050 (%)
機 械 的 性 質		
引張り強さ	降 伏 点	伸 び
402~510 (MPa)	> 245 (MPa)	> 17 (%)

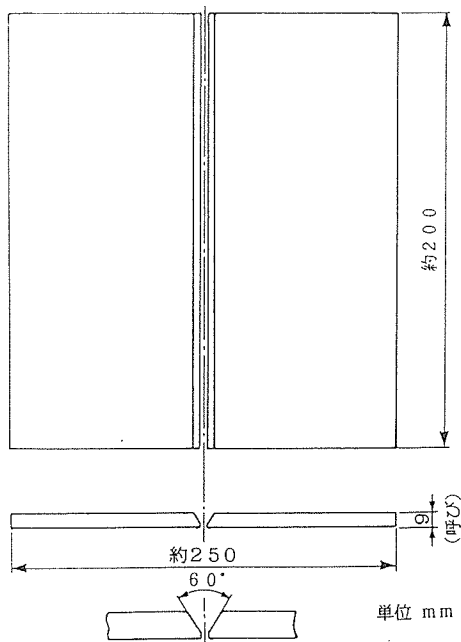


図1 溶接試験材の形状

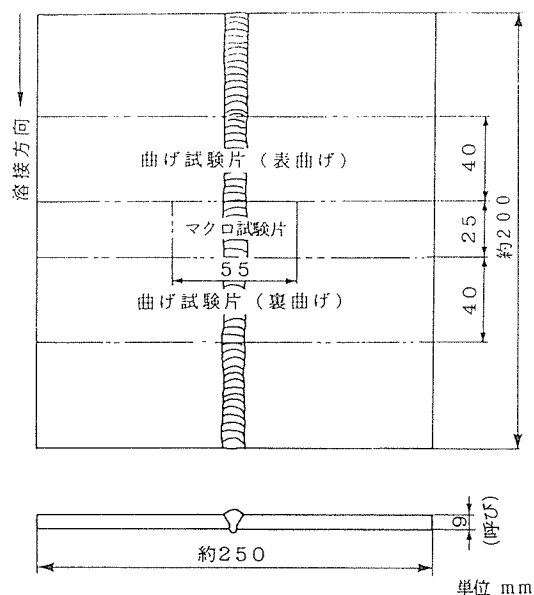


図2 試験片の寸法

2.2 実験方法

溶接方法として炭酸ガス溶接法を用い、半自動溶接機(日立インバータパルスミグ350CXPⅡ)の溶接トーチを自製の自動送り台にセットし自動溶接装置とした。開先形状はV形とし、溶接ワイヤ

は直径 1.2 mm ソリッドワイヤ (J I S Z 3312, YGW11), シールドガスはCO₂ (100%) を用いた。実験に先立ち全く欠陥の発生しない適正な溶接条件を表 2 のように予め求めておき, 適正条件からある量だけ偏った溶接条件を設定して溶接技能者によって変化する条件とした。

表 2 適正な溶接条件

ビード偏り幅	0.0 mm
チップ母材間距離	21.7 mm
溶接速度	0.162 cm/s
ルート間隔	2.0 mm
ルート面長さ	1.5 mm
溶接電流	210 A
溶接電圧	22 V
シールドガス	CO ₂
ガス流量	0.01 m ³ /min
トーチ角	前進角 30°
開先角	60°

また, 溶接はそれぞれの条件の変化による影響を判別しやすくするために単層 (1パス) で行ったが, 条件の変化による溶け落ち防止のために銅板の裏当て材を用いている。溶接中ワイヤ送給速度を計測し, 消費されたワイヤ量からビード量 (単位溶接長さあたりのビードの量) を求め, さらに溶接入熱とビード量から比溶着熱を算出した。また, 溶接中に溶接アーク発生状態を溶接線上進行方向からビデオカメラで撮影し, テレビ画面上からアーク長さを決定した。図 3 に溶接アーク発生状況の一例を示す。

溶接後, マクロ試験片について非接合部深さ (融合不良深さ + 溶込み不良深さ) を測定し, 開先断面深さに対する非接合部深さの割合を非接合部深さ割合 (%) とした。また, 同時に溶接技術検定試験の基準 (J I S Z 3124) に従いローラ曲げ試験も行った。この実験における各パラメータの定義を図 4 に示す。

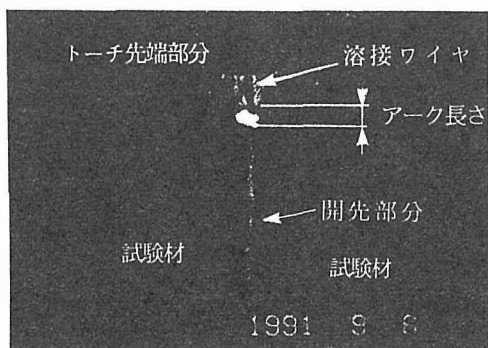


図 3 アーク長さの判定

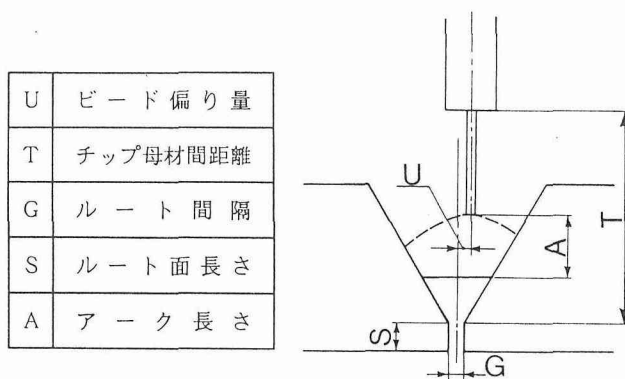


図 4 溶接条件の偏りパラメータ

3. 実験結果及び考察

以下に示すいくつかの項目を変化させて実験を行った。実験結果を要約すると次のようになる。

3.1 条件を偏らせたときの実験結果及び考察

3.1.1 ビード偏り幅を増加させた場合

ビード偏り幅を増加させると、融合不良深さが増加した。これは図5に示すように、溶融池においてビードの偏りを与えた反対側がアーク中心よりも大きく先行するため、母材を溶融させることなくその溶融池前面が冷えて凝固層が生じる。またこのとき凝固層は酸化されるが、金属の溶融温度は酸化される前よりも一般に高くなるから、凝固層部分にアークの中心が到達しても凝固層は再溶融されず、母材も溶融されないまままで融合不良が発生することになる。

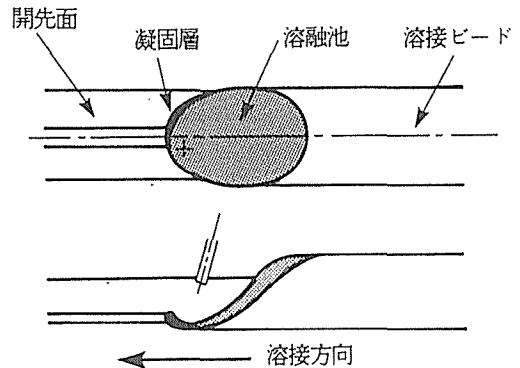


図5 溶融池の偏り

3.1.2 チップ母材間距離を増加させた場合

チップ母材間距離を増加させたとき変化したのは、アーク長さ、融合不良深さの増加であり、一方、溶接電流、溶接入熱、比溶着熱は減少した。この場合、図6に示すようにワイヤ突き出し長さと共にアーク長さも増加する。アーク長さが増すと半自動溶接における定電圧電源の電圧電流特性と、アークの電圧電流特性から定常となる溶接電流は低下することになる。従って溶接入熱および比溶着熱は低下し、母材を溶融するのに必要な熱量に達しなくなり融合不良が生じる。

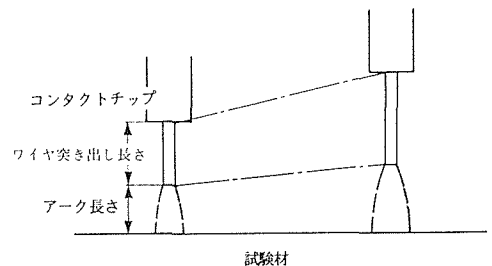


図6 ワイヤ突き出しの長さ

3.1.3 溶接速度を減少させた場合

溶接速度を減少させたとき、ビード量、溶接入熱、融合不良深さが増加した。溶接速度が減少すれば、単位溶接長さあたりのビード量は増加する。一方、溶接入熱は増加するが、ビード量も増加するからビード単位重量あたりの入熱量である比溶着熱は変化せず、従って融合不良深さには影響を与えない。しかし、ビード量が増加すると、図7に示すようにビード偏り幅を増加させた場合と同様に溶融池がアーク中心よりも大きく先行するため、母材を溶融することなく溶融池前面が冷えて凝固層が生じる。また、この凝固層は酸化されているので、金属の溶融温度は高くなっており、

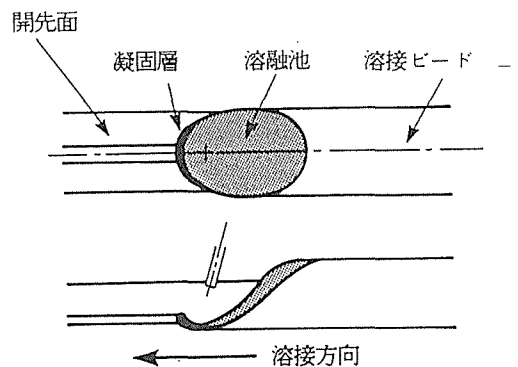


図7 溶融池の移動

凝固層部分にアーク中心が到達しても再溶融されず、母材も溶融されないままで融合不良が発生するものと思われる。

3.1.4 溶接速度を増加させた場合

溶接速度を増加させたとき、ビード量、溶接入熱が減少した。

溶接速度を増加させれば単位溶接長さ当りのビード量は減少する。しかし、溶融池前面がアークの中心よりも大きく先行することはない。従って、溶接入熱は減少するが、ビード量も減少するため比溶着熱は変化せず、溶接速度を増加させても融合不良は発生しない。

3.1.5 ルート間隔を減少させた場合

ルート間隔を減少させたとき、溶接電流、溶接入熱、比溶着熱、溶込み不良深さは増加し、アーク長さが減少した。この現象は以下のように説明される。

ルート間隔を減少させてもビード量は変化しないが、開先部の体積は減少するから溶融池はルート部分に入り込みにくくなり、溶込み不良が生じる。一方、チップ母材間距離は一定であるが、溶融池の液位表面は上昇するから、チップ溶融池表面距離は短くなりアーク長さは減少する。従って、定電圧電源及びアークの電圧電流特性に基づき溶接電流は増加し、溶接入熱、比溶着熱も増加することになり、融合不良は発生しない。

3.1.6 ルート間隔を増加させた場合

逆にルート間隔を増加させれば、溶接電流、溶接入熱、比溶着熱が減少し、アーク長さ、融合不良深さの増加が認められた。

ルート間隔を増加させてもビード量は変化せず開先部の体積が増加するから、溶融池はルート部分に入り込み易くなり充分な溶込みが行われる。しかし、図8に示すようにチップ母材間距離は一定であるが、溶融池表面液位が下降するためチップ溶融池表面距離が増加することになり、アーク長さは増加することになる。従って、溶接の電圧電流特性から溶接電流は減少し、溶接入熱、比溶着熱も減少するため融合不良が発生する。

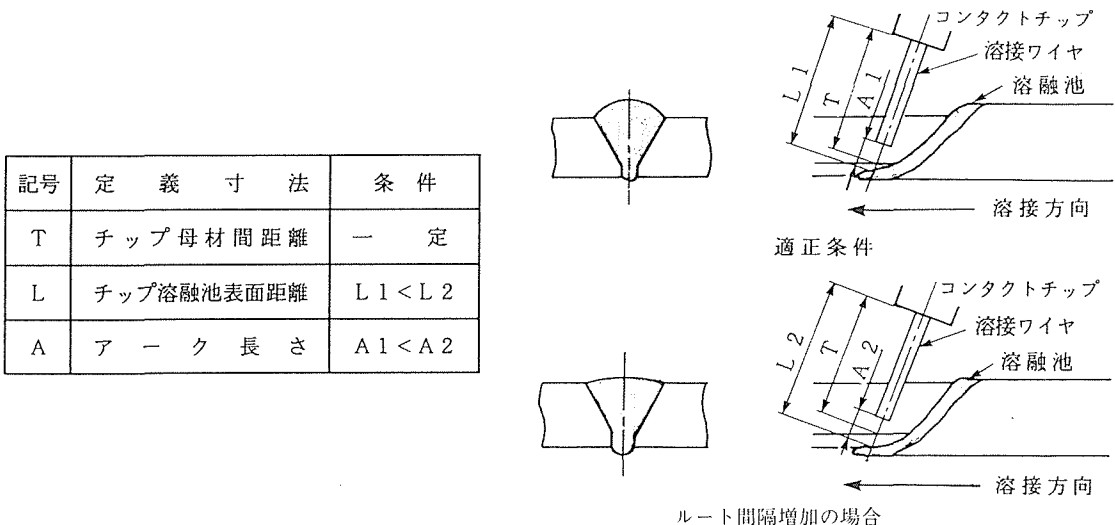


図8 チップと溶接池表面の距離

3.1.7 ルート面を増加させた場合

ルート面を増加させたとき、溶込み不良深さのみが増加した。これはルート面を増加させることにより開先部の体積が減少することになり、一方、ビード量は変化しないから溶融池はルート部分に入り込みにくくなり溶込み不良が発生するものと思われる。

3.2 融合不良、溶込み不良の発生限界、ならびに発生傾向について

3.2.1 アーク長さの増加に起因する融合不良

アーク長さの増加により比溶着熱が減少しそのため融合不良が発生する実験としては、ルート間隔を増加させる方法とチップ母材間距離を増加させる方法の2つが考えられる。

上記2つの実験結果として融合不良深さとアーク長さの関係を示したのが図9である。図から融合不良はアーク長さが約2.5 mmより長くなったときに発生することがわかる。図中の直線は対象となる試験片の各値を最小二乗法によって処理したもので、アーク長さから融合不良深さを推定する目安として利用することができる。同様に融合不良深さと比溶着熱の関係を表わした図10をみれば、融合不良は比溶着熱が約0.29 J/gより小さくなったときに発生することがわかる。図中の直線は比溶着熱から融合不良深さを推定する目安として利用できる。

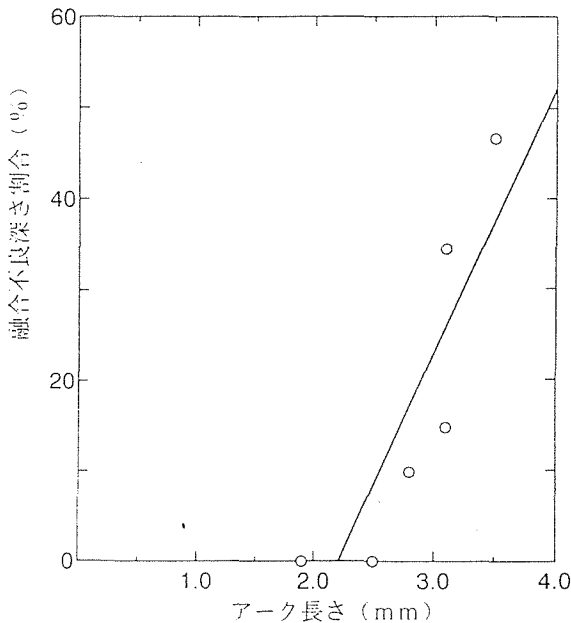


図9 融合不良深さとアーク長さ

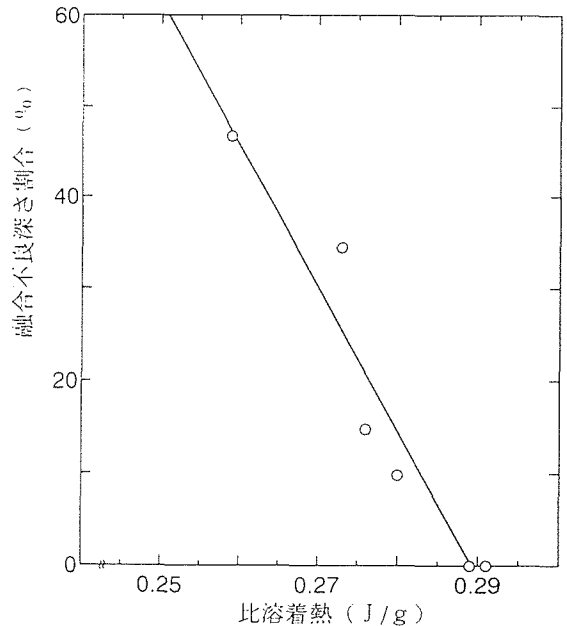


図10 融合不良深さと比溶着熱

3.2.2 溶融池の凝固層発生に起因する融合不良

凝固層の存在が原因となって融合不良が発生することを確かめる実験は、ビード偏り幅を増加させる方法と溶接速度を減少させる方法で行った。図11は融合不良深さと偏り幅の大きさの関係を示しているが、融合不良はビード偏り幅が0.5 mmのときに発生し、1.5 mm以上になると開先の片側は全く溶着していないことが認められる。また、溶接速度を遅くした場合については図12のように溶接速度が約0.16 cm/s未満になると発生し、遅くなるに従って融合不良深さは増加している。

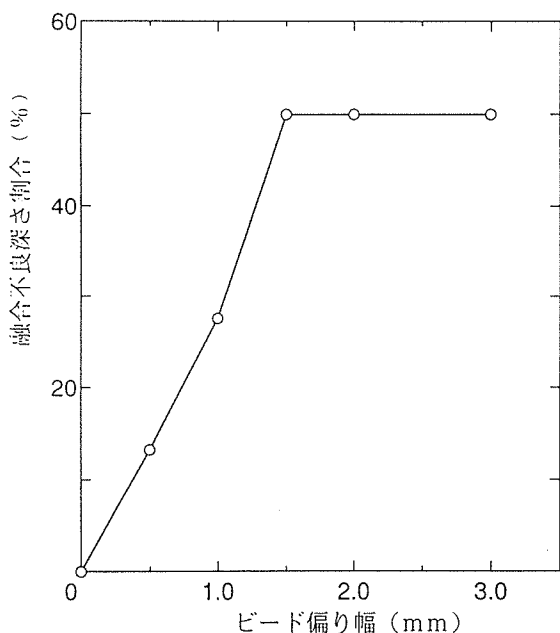


図11 融合不良深さとビードの偏り

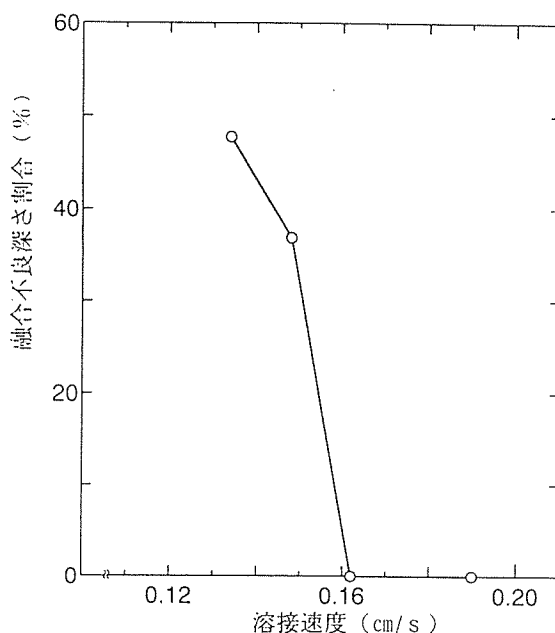


図12 融合不良深さと溶接速度

3.2.3 溶融池がルート部分に入り込みにくくなることに起因する溶込み不良

溶融池がルート部分に入り込みにくくなることで溶込み不良を発生させる実験はルート面を増加させる方法とルート間隔を減少させる方法で行った。

形成される溶融池がルート部分へ入り込みにくいのは、ルート間隔とルート面の狭さに起因することは容易に理解されるが、両者の関係は図13のようになる。図中の直線はルート間隔について溶込み不良が発生しない限界、ならびに発生する限界の中間値と、ルート面長さの増加について溶込み不良が発生しない限界、ならびに発生する限界の中間値の二点を通る直線であり、この直線からルート間隔とルート面長さの両者について溶込み不良の発生領域を明らかにすることができた。

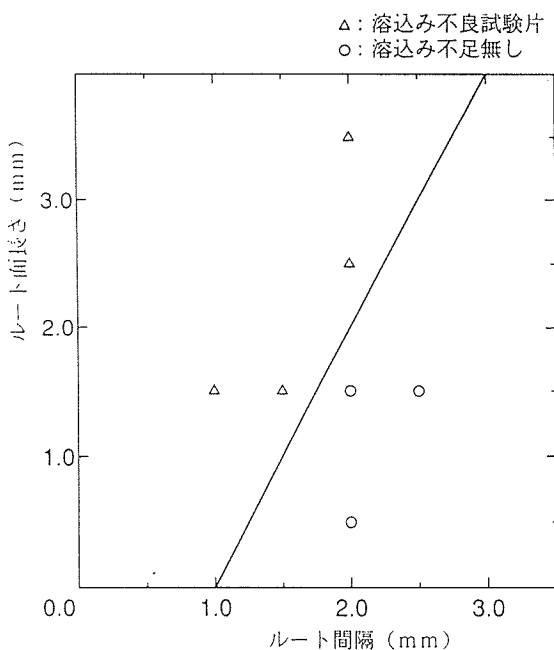


図13 ルート形状の影響

3.3 ローラ曲げ試験結果および考察

JIS規格によるローラ曲げ試験に基づき、試験片全数の表、あるいは裏曲げを行った結果について説明する。

3.3.1 ビード偏り幅を増加させた場合

ビード偏り幅を増加させた場合、離れた側にはアングカットが生じるため、ローラの表曲げでは全ての試験片が破断した。また、裏曲げではビード偏り幅が 0.5 mmのときは数箇所クラックが発生し、ビード偏り幅を 1.0 mm以上としたときには全て破断した。量的にいえば 0.5mmのときに融合不良による非接合部の割合は約13%に達し、そのためにクラックが発生したものであり、同様に1.0 mmのときにはその割合が約27%に達しており、クラックから割れが進行して破断した。

3.3.2 チップ母材間距離を増加させた場合

チップ母材間距離を 24.8 mmとしたとき、ローラ表曲げ試験では J I S 判定で合格であるにも拘らず裏曲げではいくつかのクラックが発生していた。この場合、融合不良による非接合部の割合が約3%ではあるが、この程度でもクラックが生じている。チップ母材間距離が 26.3 mm以上では非接合部の割合が約35%以上となり全て破断した。

3.3.3 溶接速度を変化させた場合

溶接速度を減少させた場合、全てに融合不良が生じ全てが破断した。逆に溶接速度を増加させたときは適切な溶込みが行われたため裏曲げでは合格であったが、表側にはアングカットが生じている場合も多く、そのため表曲げでは全長にわたってクラックが発生した。

3.3.4 ルート間隔を変化させた場合

ルート間隔を減少させたときには溶込み不良が、また増加させたときには融合不良が生じているため全ての試験片が破断した。

3.3.5 ルート面長さを増加させた場合

ルート面長さを 2.5 mmに増加したときローラ表曲げは合格であったが、裏曲げでは全長にわたって溶込み不良に基づくクラックが発生した。3.5 mmに増加させたときには溶込み不良はさらに増加し、表曲げ、裏曲げ共にクラックが進行して破断した。

4. I S M (Interpretive Structural Modeling) 手法による欠陥発生要因の整理

溶接接合における融合不良、溶込み不良の欠陥を発生させるいくつかの要因要素についてそのつながりや階層構造を明確にすれば溶接技術者にとって要因相互の関係を理解することが容易になり、技術教育上大きな効果を上げることができる。ここでは I S M手法を使って要因分析を行った。

実験により検討した要因要素15項目について二値行列を形成し、隣接行列を作って要因要素に関するブール演算を行い、可達行列を求めて要因要素の階層構造を明らかにした。

有向グラフにより各要因要素の関係を表したものが図14である。この因果関係を示す要因は6つの階層で表現されており融合不良、溶込み不良の欠陥を引き起こす近い原因、遠い原因を整理することができるから、溶接技術者あるいは技能者の技術自習、研修等の技術教育のために非常に有益である。

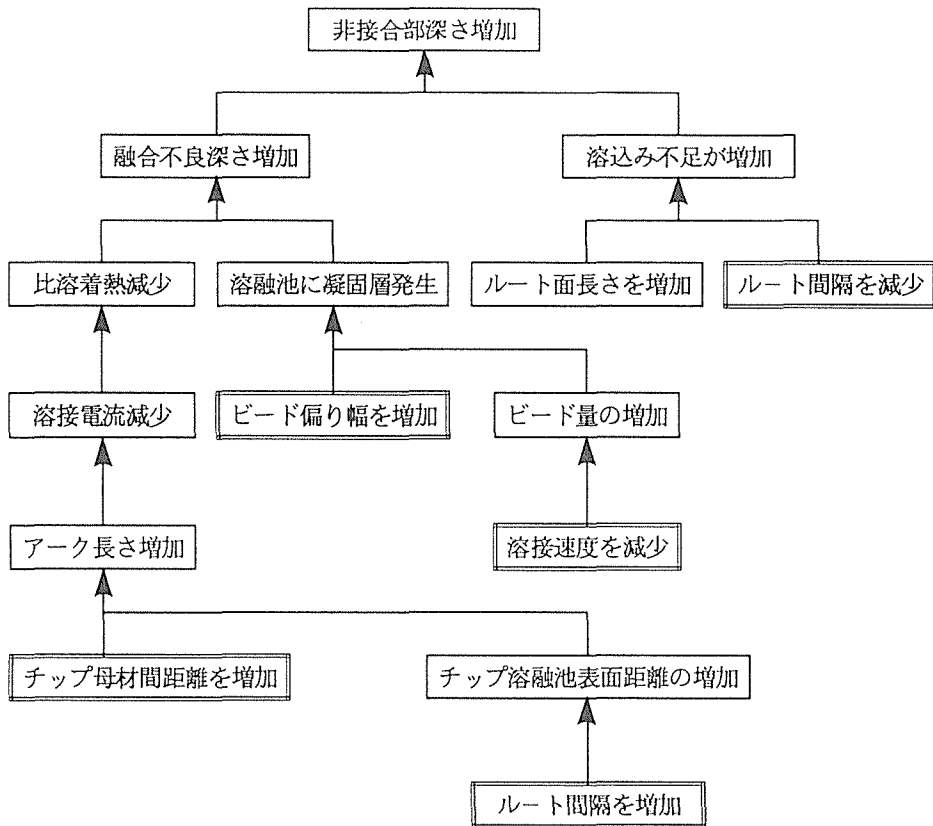


図14 融合不良欠陥要因の階層表示

5. むすび

本研究では溶接施工時に溶接技術者によって変化すると考えられるいくつかの溶接条件を故意に偏らせて試験片を製作し、ローラ曲げ試験およびマクロ試験による評価と偏らせた溶接条件の関係から融合不良、溶込み不良の発生傾向、発生機構を検討した。

得られた結果を要約すると以下ようになる。

- (1) ルート間隔,あるいはチップ母材間距離を増加させた場合には,アーク長さが増加し比溶着熱が減少する。従って母材を溶融する充分の熱量が与えられなくなるため融合不良が発生する。また融合不良はアーク長さが約 2.5 mmより大きくなったとき,比溶着熱が約 0.29 J/gより小さくなったときに発生し,以降,比例的に増加する。
- (2) ビード偏り幅を増加,あるいは溶接速度を減少させた場合には,溶融池前面に凝固層が生じ,酸化されて溶融温度が高くなるため融合不良が発生する。ビード偏り幅を増加させるにしたがって融合不良は比例的に増加し,1.5 mm以上では開先の片側は全く溶着しない。また溶接速度が約0.16cm/s未満で融合不良が発生し,溶接速度が遅くなるに従い融合不良は比例的に増加する。

- (3) ルート間隔を減少,あるいはルート面長さを増加させたときには,溶融池がルート部分に入り込みにくくなるため溶込み不良が発生する。また,ルート部分への入り込みにくさはルート間隔とルート面長さの関係によるものであり,それぞれを偏らせたときの溶込み不良の発生限界から溶込み不良の発生領域が明らかになった。
- (4) ローラ曲げ試験に関しては,アングカットが生じているときには表曲げで亀裂が生じ,溶込み不良が生じているときには裏曲げで亀裂が生じる。融合不良が生じているときには表曲げ,裏曲げ共に亀裂を生じる。また,いかなる欠陥においても非接合部割合が約15%以上であると表曲げ,裏曲げともに破断する。
- (5) I S M手法により融合不良,溶込み不良に関して有向グラフにまとめたものが図14であり,これにより溶接施工時に考慮しなければならない項目の順位づけが明らかになった。

参考文献

- 1) 溶接学会編：溶接・接合便覧,丸善(1990)
- 2) 佐藤邦彦編：溶接強度ハンドブック,理工学社(1988)
- 3) 日本溶接協会,溶接棒部会編：マグ・ミグ溶接の欠陥と防止対策,産報出版(1991)
- 4) 日本規格協会訳：A S M E ボイラ及び圧力容器基準 Sec. IX 溶接及びろう付施工法,溶接士等の認定 1989年版,(財)日本規格協会(1990)
- 5) 北海道地区溶接技術検定委員会：北海道 溶接技術検定試験ハンドブック,(社)日本溶接協会 北海道地区溶接技術検定委員会(1881)
- 6) 杉谷,西：溶込み深さの最適制御方法に関する基礎的検討,溶接学会論文集,7-1(1989)15-21